

Année 1953

N°

THESE
pour le

214

DOCTORAT EN MEDECINE
(Diplôme d'Etat)

par

GOSSELIN Jacques , Emile, Maurice

Né le 18 janvier 1923
à Argenteuil (S et O)

Présentée et soutenue publiquement le 25 mars 1953

ULTRA-SONS
et
AUDIOLOGIE

Président : M. H. DESGREZ, Professeur

1953
Editions de l'A.G.E.M.P.

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

Nom du candidat : GOSSELIN

Prénoms : Jacques, Emile, Maurice

Date de la soutenance : 25 mars 1953

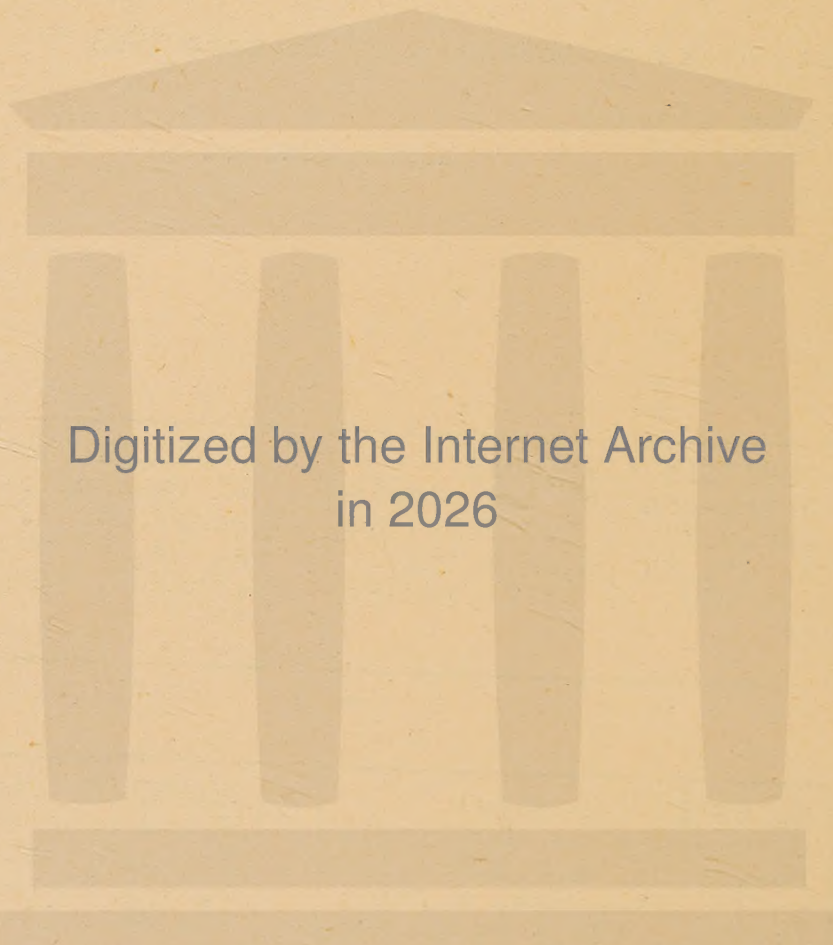
Numéro d'ordre :

GOSSELIN (Jacques)
Ultra-sons et Audiologie
Paris, Ed. A.G.E.M.P. 1954
in 4°, 51 pages, 8 fig.,
(Th.Méd. (Et.) Paris 1953
n°)

GOSSELIN (Jacques)
Ultra-sons et Audiologie
Paris, Ed. A.G.E.M.P. 1954
in 4°, 51 pages, 8 fig.
(Th.Méd. (Et.) Paris 1953
n°)

GOSSELIN (Jacques)
Ultra-sons et Audiologie
Paris, Ed. A.G.E.M.P. 1954
in 4°, 51 pages, 8 fig.,
(Th.Méd. (Et.) Paris 1953
n°)

GOSSELIN (Jacques)
Ultra-sons et Audiologie
Paris, Ed. A.G.E.M.P. 1954
in 4°, 51 pages, 8 fig.,
(Th.Méd. (Et.) Paris 1953
n°)



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Année 1953

N°

THESE

pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

par

GOSSELIN Jacques , Emile, Maurice

Né le 18 janvier 1923

à Argenteuil (S et O)

Présentée et soutenue publiquement le 25 mars 1953

ULTRA-SONS

et

AUDIOLOGIE

Président : M. H. DESGREZ, Professeur



DOYEN HONORAIRE :

M. Baudoin

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Baudoin, Brindeau, Carnot, Chevassu, Chiray, Clerc, Delbet, Gougerot (H), Guillaïn, Harvier, Laignel-Lavastine, Laubry, Lemaître, Lemierre, Lhermitte, Lian, Loeper, Marion, Mathieu, Mocquot, Mulon, Olivier, Ombredanne, Sannié, Sébilleau, Sézary, Tanon.

DOYEN.....Léon BINET, Membre de l'Institut

ASSESEUR.....Jean VERNE

I.- PROFESSEURS

	MM .
Anatomie.....	CORDIER. (G.)
Anatomie pathologique.....	DELARUE. (A.)
Bactériologie.....	GASTINEL. (P.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports.....	CHAILLEY-BERT. (P.)
Biologie médicale.....	VERNE. (J.)
Cancérologie médicale et sociale.....	HUGUENIN. (R.)
Carcinologie.....	OBERLING. (C.)
Chimie médicale.....	POLONOVSKI. (M.)
	(Hôtel-Dieu.....BROCQ. (P.)
	(Saint-Antoine.....CADENAT. (F.)
	(Salpêtrière.....MONDOR. (H.)
	(Cochin.....QUENU. (J.)
Clinique chirurgicale réparatrice et orthopédique.....	MERLE D'AUBIGNE. (R.)
Clinique de cardiologie.....	DONZELOT. (E.)
Clinique de chirurgie infantile et d'orthopédie.....	FEVRE. (M.)
Clinique de Chirurgie pleure-pulmonaire.....	MONOD. (R.)
Clinique de la tuberculose.....	BERNARD. (E.)
Clinique de neuro-chirurgie.....	PETIT-DUTAILLIS. (D)
Clinique de puériculture.....	LELONG. (M.)
Clinique des maladies cutanées et syphiliti- ques.....	DEGOS. (R.)
Clinique des maladies du sang.....	CHEVALLIER. (P.)
Clinique des maladies du système nerveux.....	ALAJOUANINE. (T.)
Clinique des maladies des enfants.....	DEBRE. (R.)
Clinique des maladies infectieuses.....	MOLLARET. (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale.....	DELAY. (J.)
Clinique gynécologique.....	FUNCK-BRENTANO. (P.)
	(Hôtel-Dieu;;...BENARD. (H.)
	(Bichat.....LAROCHÉ. (G.)
	(Cochin.....MOREAU. (R.)
Clinique médicales.....	(Pitié.....LEMAITRE. (A.)

Clinique médicale d'hydro-climatologie	
thérapeutique.....	JUSTIN-BESANCON. (L.)
Clinique médicale propédeutique.....	PASTEUR-VALLERY-RADOT. (L.)
(Tarnier.....)	LANTUEJOUL. (P.)
Clinique obstétricales....	(Baudelocque..LEVY-SOLAL. (E.)
(Port-Royal...)	LACOMME. (M.)
Clinique ophtalmologique.....	VELTER. (E.)
Clinique oto-rhino-laryngologique.....	AUBIN. (A.)
Clinique physio-pathologique des problèmes	
alimentaires (chaire à titre personnel).	RICHT. (C.)
Clinique psychiatrique infantile.....	HEUYER. (C.)
Clinique rhumatologique.....	COSTE. (F.)
Clinique stomatologique.....	DECLAUME. (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale....	SENEQUE. (J.)
Clinique thérapeutique médicale.....	CHABROL.
Clinique urologique.....	FEY. (B.)
Embryologie.....	GIROUD. (A.)
Génétique.....	LAMY. (M.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie.	MOUQUIN. (M.)
Histologie.....	CHAMPY. (C.)
Hygiène et clinique de la première enfance.	CATHALA. (J.)
Hygiène et médecine préventive.....	JOANNON. (C.)
Médecine du travail.....	DESOILLE. (H.)
Médecine légale.....	PIEDELIEVRE. (R.)
Parasitologie et histoire naturelle	
médicale.....	GALLIARD. (H.)
Pathologie chirurgicale.....	MENECLAUX. (G.)
Pathologie exotique.....	LAVIER. (G.)
Pathologie expérimentale et comparée....	LENEGRE. (J.)
Pathologie médicale.....	BARIETY. (M.)
Pathologie et thérapeutiques générales..	DE GENNES. (L.)
Pharmacologie et matière médicale.....	HAZARD. (R.)
Physico-chimie médicale (chaire à titre	
personnel).....	DOGNON. (A.)
Physiologie.....	PIST. (L.)
Physique médicale.....	STROHL. (A.)
Radiologie médicale.....	DESGREZ. (H.)
Technique chirurgicale.....	MOULONGUET. (P.)
Thérapeutique.....	TURPIN. (R.)

II.-PROFESSEURS SANS CHAIRE

LITRE DE CONFERENCES-AGREGES ET AGREGES

Anatomie.....	(DEBEYRE. (J.)
	(DELMAS. (A.)
Anatomie pathologique.....	(GAUTHIER-VILLARS
	((Melle P.) Pr.s.ch.
	(BUSSER. (F.)

Bactériologie.....	(F. S. JUELLE. (R.) (NEVOT. (A.)
Biologie médicale.....	BOURLIERE. (F.) (SETTORI. (J) Pr. s. ch.
Chimie médicale.....	(J. LYLE. (M. F.) Pr. s. ch. (SCHAPIRA. (G.)
Dermato-syphlographie.....	N... (DESCLAUX. (P.)
Histologie.....	(BULLIARD (H) Pr. s. ch. (COUJARD. (R.)
Hydrologie.....	DEBRAY. (C.)
Hygiène.....	(BOYER (DEPARIS (M.)
Médecine légale.....	DEROBERT. (L.) (GAULTIER. (M.)
Neuro-chirurgie.....	N...
Neurologie.....	SEZER. (S. de) (GRASSET. (J.) (LEPAGE. (F.)
Obstétrique.....	(MEYER. (M.) (MERGER. (R.) (RAVINA. (J.) (VARANGOT. (J.)
Ophtalmologie.....	(OFFERT. (G.) (DUGVIGNES. (P.)
Oto-rhino-laryngologie.....	(HALPHEN. (E) Pr. s. ch. (MADURO. (R.)
Parasitologie.....	(BRULFT. (L.)
Parasitologie coloniale.....	(CHABAUD. (ABOULKER. (P.) (BAULMANN. (J.) (GOSSET. (J.)
Pathologie chirurgicale.....	(HUGUIER. (J) (LAURENCE. (G.) (LEGER. (L.) (OLIVIER. (CI.) (PADOVANI. (P.)
	(POILLEUX. (M.)
Pathologie chirurgicale.....	(ROUX. (M.) (RUDLER. (J. C.) (VERNE. (J. M.)
Pathologie expérimentale.....	(MERKLIN. (P.)

	(BERNARD. (J.)
	(BOUDIN. (G.)
	(CASTIGNE. (P.)
	(CONTE. (M.)
	(DECOURT. (J.)
	(DOMART. (A.)
	(DREYFUS. (Gilbert)
	(FAUVERT. (R.)
Pathologie médicale.....	(HAMBURGER. (J.)
	(KOURILSKY. (R.)
	(MILLIEZ. (P.)
	(PERRAULT. (M.)
	(RAMBERT. (P.)
	(THIEFFRY. (St.)
	(TURLAT. (J.)
	(N....
	(N....
	(N....
Pédiatrie.....	(LAPLANE. (R.)
	(MARIE. (J.)
Pharmacologie.....	(LEVY. (Melle J.) Pr.s.ch.
	(CHEYMOL. (J.H.) Pr.s.ch.
Physiologie.....	(BARGETON. (D.) Pr.s.ch.
	(PARROT. (J.L.)
Physique médicale.....	(DJOURNO. (L.)
	(GOUGEROT. (L.)
Psychiatrie.....	BARUK. (H.)
Psychiatrie infantile.....	MICHAUX. (L.)
Stomatologie.....	CHAPUT. (Mme A.)
Thérapeutique.....	PERRAULT.
	chargé de l'enseignement
Urologie.....	KUSS. (R.)

III-PROFESSEURS HONORAIRES ET AGREGES

RAPPELES A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM. BRINDEAU. (A.) (Obstétrique), G. TELLIER. (J.) (Clinique chirurgicale), LE LORRIER. (V.) (Obstétrique), VAUDESCALL. (R.) (Obstétrique).

IV- PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGREGES

CHARGES DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

à titre permanent

MM.

Clinique chirurgicale..... (AMELINE. (A.)
(PATEL. (J.)
(SICARD. (A.)

Clinique médicale..... (BOULIN. (R.)
(BROUET. (G.)
(CACHERA. (R.)
(GARCIN. (J.)
(LAGUENAU. (M.)
(MARCHAL. (G.)
(SOULIE. (E.)

Clinique obstétricale..... (DIGONNET. (L.)
(EGALLE. (G.)

Clinique ophtalmologique..... RENART. (G.)

Clinique urologique..... COUVELAIRE. (R.)

MM.

Secrétaire de la Faculté..... MOREL. (J.)
Secrétaire-adjoint..... Melle CHANTREUIL (G.)

Conservateur..... Docteur HAHN. (A.)
Bibliothécaires..... M. DOULLE. (G.), Melles DULITRE. (P.)
GOICHON. (A-M.), LE NOIR. (G.), METIN. (F.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A mon père, le Docteur Gossclin,

A ma mère,

En reconnaissance de tout ce que je
leur dois et en faible témoignage de
mon affection.

A mon frère

A tous mes parents et amis

A NOTRE MAITRE
ET PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur H. DESGREZ
Professeur de Radiologie à la
Faculté de Médecine de Paris
Electro-Radiologiste de l'Hôpital
Laënnec

Officier de la Légion d'Honneur

Qui nous a fait le grand honneur
d'accepter la Présidence de cette
thèse. La confiance qu'il nous a
témoignée, les conseils qu'il nous
a donnés ont guidé notre choix et
nous ont permis de réaliser ce
travail.

Nous le prions de voir ici, l'expres-
sion de notre gratitude.

A mes juges

Nos hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur DOGNON

Nous le prions de voir ici
l'expression de notre reconnaissance.

A monsieur le Docteur STUHL,

Electroradiologiste des Hôpitaux de Paris,
Chef du Service d'Electroradiologie de
l'Hôpital Beaujon,
Officier de la Légion d'Honneur.

A monsieur le Docteur FOUBERT,

Electroradiologiste des Hôpitaux de Paris,
Chef du Service d'Electroradiologie de
l'Hôpital Broussais.

A monsieur le Docteur PUYAUBERT,

Electroradiologiste des Hôpitaux de Paris,
Chef du Service d'Electroradiologie de
l'Hôpital de Vaugirard.

INTRODUCTION

:--:--:--:--:--:

Les ultra-sons ont déjà donné quelques bons résultats en audiologie.

Il convient d'envisager d'abord la définition des ultra-sons en audiologie et de distinguer ultra-sons de basse fréquence et ultra-sons de haute fréquence.

Il faut alors examiner l'action des premiers sur l'oreille.

Ensuite, il faut étudier l'action des ultra-sons de haute fréquence c'est à dire :

- Le problème technique qui se pose au niveau de l'oreille:
production
transmission
modes d'applications.

- Les effets observés en expliquant les rapports possibles entre les effets physiques des ultra-sons et les lésions observées expérimentalement.

- Enfin, les effets des irradiations sur l'audition et la comparaison entre audiogrammes expérimentaux et ceux obtenus chez l'homme avant et après les séances d'application.

On devra envisager alors une notion qui semble actuellement encore, assez floue : celle des doses à employer en clinique et des tests dont on pourrait tenir compte pour les établir.

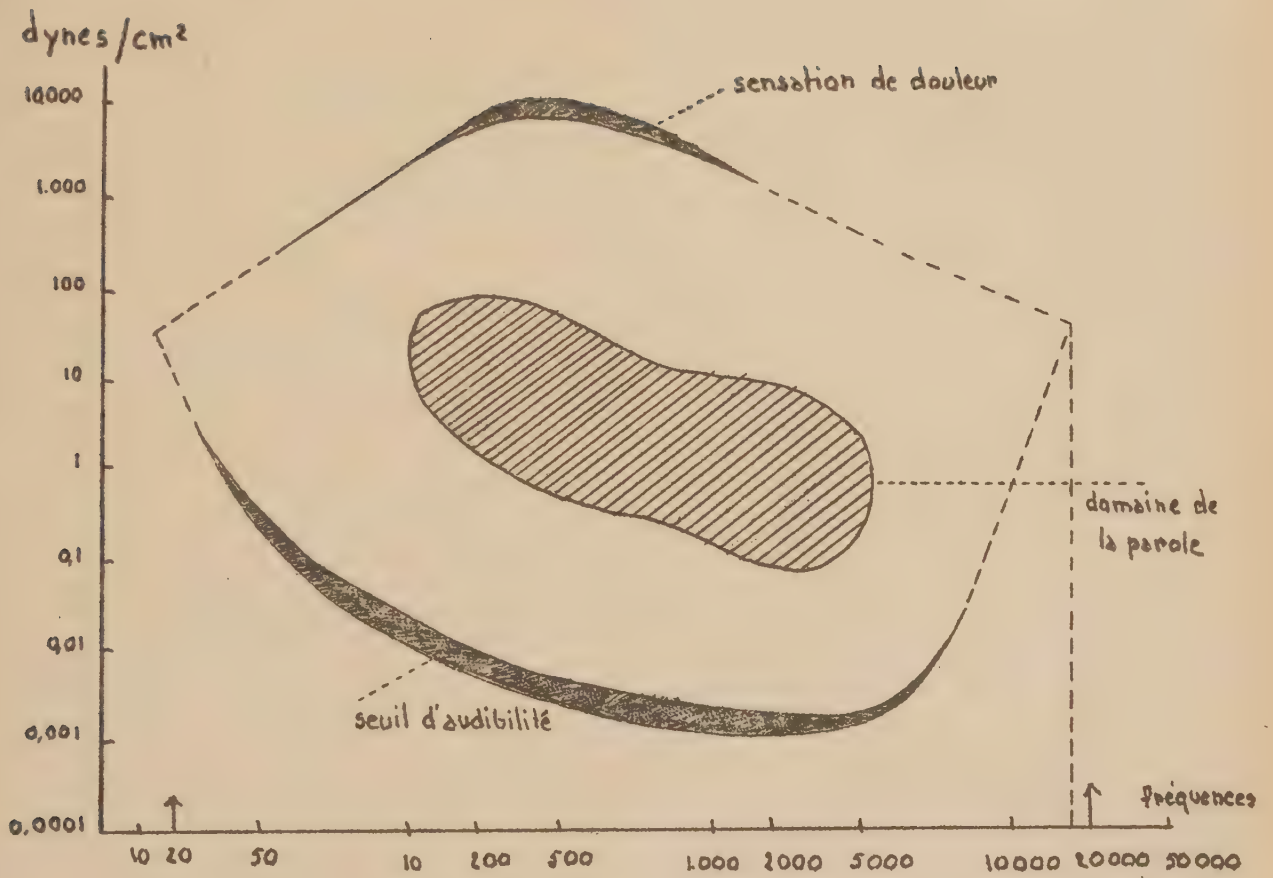
En dernier lieu, seront rapportés les résultats cliniques de l'ultrasonothérapie dans les affections de l'oreille.

:--:--:--:--:--:

1:) La définition des ultra-sons en audiologie :

Le problème de la limite supérieure de l'audition

2:) Action des ultra-sons de basse fréquence sur l'oreille



La définition des ultra-sons en audiologie, et le problème de la limite supérieure de l'audition.

C'est par rapport aux réactions de l'oreille humaine que les sons ont été classés. Dans l'audition, on distingue immédiatement deux caractères principaux : la hauteur et l'intensité.

La hauteur d'un son est définie par sa fréquence, un son qui nous paraît " aigu " a une fréquence élevée ; un son " grave ", au contraire, a une fréquence basse.

Du côté des sons graves, l'oreille peut percevoir des sons dont la fréquence ne dépasse pas 16 ^{par} secondes ; encore un tel son ne paraît-il pas continu. La perception peut être provoquée par la coexistence du son fondamental à 16 périodes et de sons harmoniques (fréquences multiples de 16). La sensation de son continu est nettement atteinte à partir de la fréquence 40.

Les sons audibles :

Leur fréquence est classiquement comprise entre 16 et 16.000.

Lorsqu'un son possède une fréquence audible, il doit, pour être perçu, avoir une intensité suffisante.

Il existe pour chaque hauteur de son, une valeur minima de l'intensité au dessous de laquelle rien n'est plus perçu par l'oreille. De même, il est possible de déterminer, pour chaque fréquence audible, l'intensité limite au-dessus de laquelle apparaît la sensation de douleur.

Les courbes donnant le seuil d'audibilité et la limite douloureuse des sons en fonction de la fréquence affectent une forme dite : " en citron ".

On peut maintenant distinguer trois catégories de vibrations matérielles élastiques : les sons, les infra-sons, les ultra-sons.

- au-dessous de 16 périodes par seconde commence le domaine des infra-sons.

- au-dessus de 20.000 périodes, les vibrations sont inaudibles et appelées ultra-sons et aucune limite de fréquence n'existe.

Or, le Professeur CALVET et Cl. BIRAGUE de Toulouse , pensent que la limite supérieure de l'audition humaine se situe entre 28 et 30.000 périodes-seconde et qu'à partir de cette fréquence se trouvent les ultra-sons de basse fréquence.

Les ultra-sons de basse fréquence de 30.000 à 60.000 périodes n'ont pas d'influence particulière avec une intensité de 160 décibels sur la cochlée et le vestibule.

Mais, toujours d'après les mêmes auteurs, les ultra-sons de basse fréquence de 30.000 à 60.000 périodes semblent agir sur le vestibule des oreilles pathologiques.

C'est donc à partir de 100.000 périodes-seconde et au-dessus qu'on peut parler d'ultra-sons de haute fréquence, qui peuvent s'étendre jusqu'à 15 millions de périodes-seconde et plus.

Le Professeur CALVET et BIRAGUE employèrent le procédé du sifflet. On sait que l'inconvénient de cette méthode est d'ajouter aux sons purs, un bruit de fond constitué par le souffle, mais, après éducation des sujets examinés, on arrive à des résultats satisfaisants.

Ces auteurs firent construire un générateur d'ultra-sons à basse fréquence se propageant dans l'air, sur le modèle de celui de HARTMANN, mais modifié.

Plusieurs cavités résonnantes de 1 à 5 millimètres de diamètre et interchangeables ont été construites pour obtenir différentes fréquences, ainsi que des tuyères correspondantes. Des plaques pour briser le jet de l'air, avaient été placées d chaque côté du sifflet afin que le sujet soumis à l'action des ultra-sons ne soit pas incommodé par l'air sous pression ; ces plaques ont été enlevées secondairement.

Aux premiers essais que firent ces auteurs, les ultra-sons obtenus n'étaient pas purs : le jet d'air introduisant de sérieuses perturbations. L'oscillographe cathodique relié à un microphone ultra-sonore décelait quantité d'harmoniques. Le sifflet de Hartmann modifié donnait de manière continue avec recouvrement pour chaque tuyau de fréquence de 17.000 à 35.000 et jusqu'à 69.000 périodes-seconde.

Ce sifflet est alimenté par un compresseur allant au maximum jusqu'à 13 kilogs de pression. Ainsi, cet appareillage permettait d'obtenir dans l'air des ultra-sons de basse fréquence et d'une densité d'énergie de 3 à 4 watts par centimètre carré, ce qui correspond à peu près à 160 décibels, susceptibles de se propager à une distance appréciable.

Par exemple : le 35.000 était détecté à 1m,50 et le 69.000 au-dessus de 0m,50. Il était ainsi facile d'étudier l'action de ces vibrations dans les conditions habituelles de transmission.

Le Professeur CALVET employait, à côté du générateur, un sonomètre avec filtres d'octaves pour fréquences sonores de 37,5 P.S. jusqu'à 12.000 P.S. permettant d'analyser et de mesurer les bruits d'une intensité acoustique comprise entre 20 et 130 phones.

Au-dessus de ces fréquences il employait "l'ultrasonomètre". Cet appareil se compose d'un voltmètre à lampes avec amplificateur situé immédiatement après un microphone piézo-électrique. Il sert à détecter, à analyser et à mesurer les sons et les ultra-sons de fréquence : 15.000, 30.000, 60.000, 120.000 périodes-seconde. Un oscillographe cathodique et un hétérodyné permettaient de contrôler la fréquence des ultra-sons émis par la méthode des courbes de Lissajous.

Ainsi, le Professeur CALVET a fait les expériences suivantes sur la limite supérieure d'audition :

Sur 130 étudiants considérés comme audiologiquement sains, 49 ont entendu le 20.000 d'une manière certaine à 110 décibels.

Dans une deuxième série d'expériences, on a soumis ces étudiants au générateur d'ultra-sons, oreille à 0m,20. La limite supérieure a été pour :

11 de 22.000

7 de 25.000

21 de 28.000

Puis ces sujets ont été soumis à des ultra-sons de basse fréquence : 35, 40, 45, 50, 55 et 60.000 périodes. Ils n'entendirent absolument rien, mais accusèrent une sensation spéciale désagréable, qui serait probablement la sensation spécifique des ultra-sons sur toute masse cellulaire.

Action physio-pathologique des ultra-sons de basse fréquence sur l'appareil cochléaire.

Les expériences faites en 1943 par CAUSSE et CHAVASSE sur la fatigue auditive, ont été reprises.

Cette étude venant apporter des arguments à la théorie moderne des localisations auditives périphériques et à celle remise en honneur des "résonateurs", sur les fréquences de 100 à 10.000 les résultats ont été identiques à ceux de CAUSSE. Ils ont montré que le maximum de fatigabilité se trouvait dans une zone hypersensible et que le déficit variait de 3 à 5 décibels.

Les écouteurs doivent être fixés à une distance rigoureusement identique pour chaque oreille.

On recherche d'abord le seuil inférieur de l'audition pour une fréquence donnée. Après un repos, on soumet ensuite le sujet à cette même fréquence pendant 40 secondes. Immédiatement on recherche à nouveau le seuil de cette fréquence et on note

le déficit. On obtient alors le tableau suivant :

Fréquences	sujets vus	Fatigue moyenne, en décibels.
10.000	10	3
12.000	17	2,6
13.000	6	1,9
15.000	17	2
18.000	17	1,3
20.000	9	1
24.000	6	1,5
28.000	6	0
30.000	6	0
40.000	6	0
55.000	6	0

Une autre série d'expériences a été faite sur 12 sujets. Ils ont été soumis pendant 30 minutes à un champ d'ultra-sons de 55.000 périodes-seconde, possédant une énergie de 3 à 4 watts par centimètre carré, ce qui correspond à environ 160 décibels, l'oreille se trouvant à 0m,20. Une courbe audiométrique faite aussitôt après, était exactement la même que celle enregistrée avant l'expérience. Il n'y avait donc pas eu de fatigue auditive, ni de retentissement pour la gamme des sons audibles. On a remarqué une tendance très nette au sommeil, chez les sujets expérimentés pendant leur séjour dans la chambre insonore.

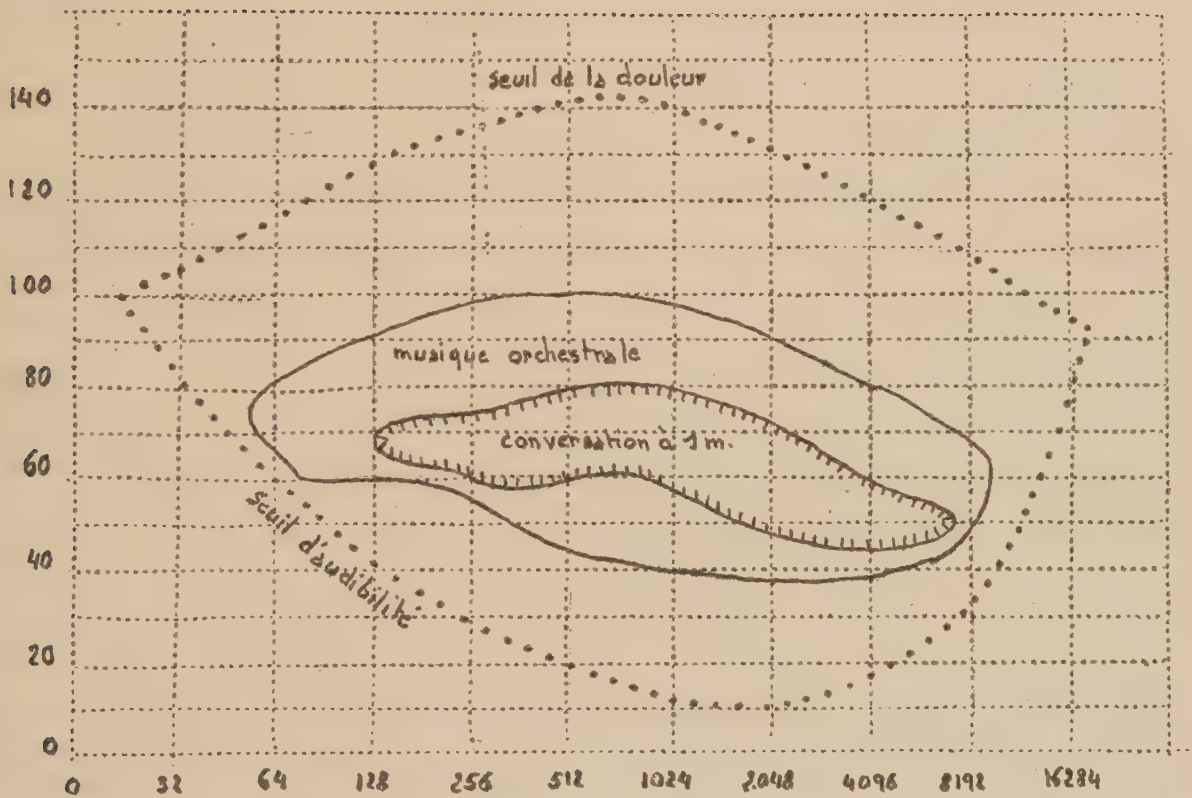
Action des ultra-sons de basse fréquence au point de vue vestibulaire.

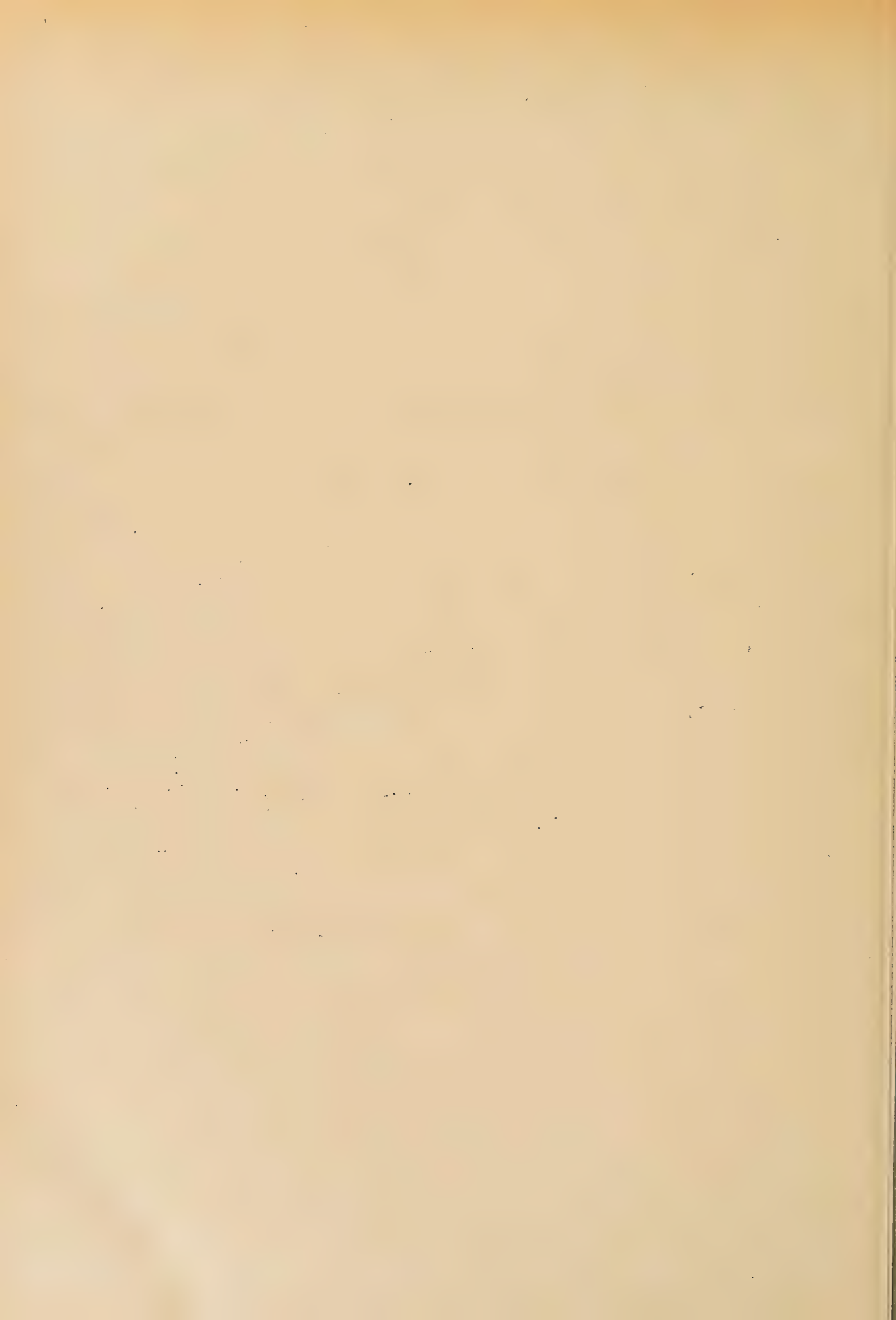
La même expérience a été reprise au point de vue vestibulaire après examen suivant la méthode des tests caloriques de Hallpicke. Dans les mêmes conditions, il n'y a pas eu de variations dans l'excitabilité du vestibule.

Enfin, chez 12 sujets pathologiques atteints d'otites catarrhales, de surdité ancienne, d'otorrhée, 9 ont présenté des perturbations : certains ont présenté de l'hypo-excitabilité vestibulaire, d'autres de l'hyper-excitabilité vestibulaire, tandis que la cochlée restait inchangée.

Les ultra-sons de basse fréquence semblent donc agir sur le vestibule des oreilles pathologiques.

décibels





Les ultra-sons de haute fréquence

(Technique)

Les techniques employées dans leur application à l'oreille :

La production : appareils, fréquences et énergie utilisés

Le problème de la transmission des ultra-sons

Les modes d'application à l'oreille.

:--:--:--:--:--:



Nous avons vu qu'à partir de 100.000 périodes, nous avons affaire aux ultra-sons de haute fréquence.

1:) Production :

On sait que c'est à la suite de la découverte de la piézo-électricité par Pierre CURIE que le Professeur LANGEVIN créa, en 1917, le premier émetteur-récepteur d'ultra-sons pratique et employé immédiatement à la détection des sous-marins.

Les appareils producteurs d'ultra-sons sont de deux types :

- les appareils magnéto-strictifs
- les appareils piézo-électriques.

Les appareils à magnéto-striction se composent d'un noyau de fils de nickel placé dans l'axe d'un solénoïde. Lorsque la bobine est parcourue par un courant de haute fréquence, la longueur du noyau varie sous l'influence du changement de l'état magnétique. Cette variation engendre des vibrations. Mais cet appareil a un rendement bien meilleur pour les ultra-sons de basse fréquence que pour ceux de haute fréquence. Au delà de 100.000 périodes, en effet, les pertes d'énergie par courants de Foucault sont trop importantes : on n'a donc pratiquement pas employé ces appareils en audiologie et on a recours aux émetteurs piézo-électriques. Ce deuxième type d'appareil est basé sur des propriétés physico-chimiques particulières de certains cristaux tels que le quartz, le sel de nignette.

Si, sur les deux faces d'une lame de quartz, rendues conductrices par métallisation, on applique une différence de potentiel, il y a contraction ou dilatation du cristal suivant le sens du champ électrique. Cet effet est réversible.

Si on exerce une pression sur la plaque de quartz, des charges électriques de signe contraire apparaissent sur chacune des faces. Si, au lieu de comprimer, on exerce une traction, on fait encore apparaître des charges électriques sur chaque face, mais elles sont de signe contraire aux précédentes. On peut facilement apprécier ces charges à l'aide d'un électromètre.

C'est donc cette réversibilité d'effet mécanique et électrique qui constitue la piézo-électricité. Ceci revient à dire, que l'on pourra produire des ultra-sons à partir d'une énergie électrique. Cette énergie sera évaluée en watts par centimètre carré. L'unité employée est donc une densité d'énergie.

En choisissant une tension électrique dont la fréquence des oscillations soit égale à la fréquence de vibration propre du quartz, celui-ci entre en résonnance et produit des vibrations intenses.

On utilise le plus souvent un émetteur piézo-électrique composé d'un projecteur portant à son extrémité, une lame de quartz recouverte d'une lame de nickel qui transforme les courants de haute fréquence fournis par un système de lampes triodes en un faisceau d'ultra-sons. Certains émetteurs très résistants sont constitués par un triplet quartz-acier : les ultra-sons possèdent en effet la même vitesse de propagation dans les deux corps. On inclut donc la lame de quartz entre deux lames d'acier et l'ensemble vibre d'un seul bloc.

Ce fut MUHLWERT, un ingénieur allemand et non un médecin qui pensa à appliquer le premier les ultra-sons aux affections de l'oreille. Les premiers essais furent faits vers 1930. GROSSET HAHN employèrent dans des cas d'otosclérose les ultra-sons de très basse fréquence de 30.000 périodes par seconde utilisés par MUHLWERT.

Mais à la suite des travaux de BERGMANN, ils préférèrent employer des ultra-sons de 300.000 périodes par seconde.

Ils employaient un générateur d'ultra-sons d'environ 300 watts, ce qui donne, par centimètre carré de quartz, 1,5 watt. L'appareil employé se composait d'un générateur de haute fréquence relié par un câble spécial au générateur d'ultra-sons.

Avec cette énergie de 1,5 watt, ces auteurs avaient fait des expériences pour voir si des lésions irréversibles se produiraient. En outre, POHLMANN avait fait des essais sur ses propres doigts où des réactions d'œdème se produisaient. L'auteur avait conclu qu'en réalité, même pour le cerveau, il ne pouvait pas se produire de lésion irréversible dans ces conditions.

Ultérieurement, SCHMALIX employa l'appareil de Siemens qui donne des ultra-sons de 800.000 périodes-seconde et 2 à 3 watts par centimètre carré.

Pour l'application clinique à l'oreille, il employait la fréquence de 800.000 mais seulement une énergie de 0,5 à 1 watt par centimètre carré.

Récemment en France, en Janvier 1952, PORTMANN G. et M. et BARBE ont donné des précisions sur l'appareillage qu'ils utilisaient. Ces auteurs se servent tant du point de vue expérimental que thérapeutique d'un générateur électrique de haute fréquence et de grande puissance (1 kilowatt-heure) avec lequel on obtient des ultra-sons par excitation d'un

quartz piézo-électrique de 3 millimètres d'épaisseur, dont la fréquence fondamentale est de 968.400 périodes-seconde.

Sur ce quartz on peut exercer des tensions variant entre 0 et 5.000 volts, donnant ainsi une énergie maximum de 100 watts. Pour cette tension maximum, le courant de haute fréquence accuse un débit de 2,4 ampères. Comme SCHMALIX pour l'application clinique des ultra-sons à l'oreille, ils utilisent une énergie variant entre 0,3 et 1 watt/cm².

Mais, au niveau de l'oreille, le problème capital est le suivant :

2:) Transmission des ultra-sons

Nous avons vu que les ultra-sons de basse fréquence peuvent se propager dans l'air. On sait que certains animaux les perçoivent à distance (sauterelle, criquet, chien, chauve-souris surtout; ce dernier animal pourrait se guider grâce aux ultra-sons émis par lui et réfléchis sur les obstacles).

Mais si l'on vient à augmenter la fréquence des ultra-sons émis, la propagation dans l'air se fait de plus en plus difficilement.

Les premiers auteurs allemands qui utilisèrent au niveau de l'oreille des fréquences de 300.000 périodes-seconde interposaient une épaisseur de 0,4cm. d'air, ce qui diminuait l'énergie de moitié.

Lorsqu'on arrive dans la gamme des vibrations vers la bande du mégacycle, les ultra-sons ne se propagent pratiquement plus dans l'air : d'où la nécessité d'un milieu intermédiaire.

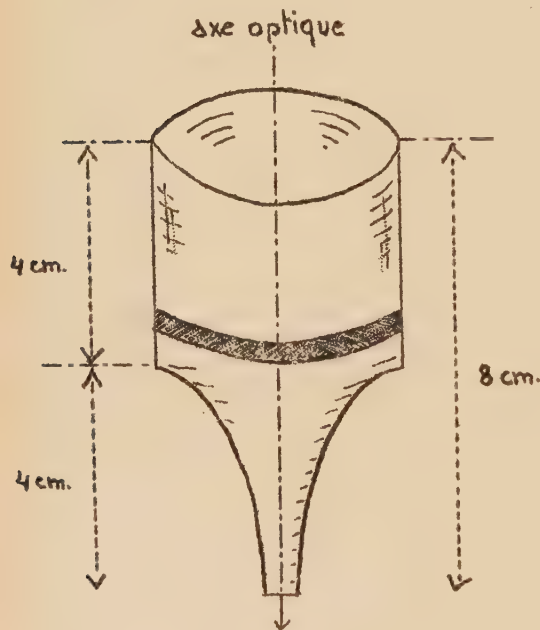
Les milieux les plus propices à la propagation des ultra-sons sont les liquides et les solides. Ceci explique qu'en thérapeutique on n'ait aucun résultat en laissant le projecteur dans l'air; il faut, au contraire, le mettre au contact de la peau. On favorisera le contact entre peau et projecteur de quartz par l'interposition d'un corps gras, huile de vaseline ou de paraffine (qui sont des milieux bons conducteurs). DENIER a fait des applications directes du quartz sur la mastoïde préalablement ointe d'huile de vaseline.

Mais, malgré cette précaution, au niveau de l'oreille, un bon contact avec les sinuosités de la peau est impossible à obtenir. De ce fait, il se produit une forte absorption des ultra-sons à la surface, occasionnant des brûlures et une chute brusque du pourcentage de la pénétration en profondeur.

On sait qu'en thérapeutique, on emploie fréquemment les ultra-sons dans l'eau. Ils se propagent en effet dans l'eau à une vitesse de 1.500 mètres environ par seconde.

On comprend alors qu'au niveau de l'oreille, l'eau constitue un milieu intermédiaire adéquat. Cette transmission des ultra-sons par eau est un point capital. Parmi les premiers auteurs qui employèrent l'ultrasonothérapie à l'oreille, GROSS et HAHN utilisèrent comme milieu intermédiaire l'huile et surtout l'eau. Ils se servaient d'une poche, d'une cupule de caoutchouc remplie de liquide et prenant contact au niveau du massif pétreux. Un autre auteur allemand, WIETHE, emploie également une calotte de caoutchouc remplie d'eau. Etant donné l'énergie qui pourrait être mise en jeu, il prend la précaution de vérifier avant application l'état de pneumatisation des cavités mastoïdiennes. SCHMALIX emploie également les ultra-sons par l'intermédiaire d'une poche de caoutchouc.

En France après de multiples essais tant sur l'os que sur le cadavre frais, PORTMANN assure la transmission des ultra-sons par eau à l'aide d'un spéculum spécial.



Il s'agit simplement d'un spéculum auriculaire dont le pavillon, le bord évasé a été soudé au fond d'un cylindre de métal de 4cm. de hauteur. L'intérieur de ce cylindre est garni de clinquant plié en zigzags, pour fixer l'embase du projecteur qui va ainsi se placer automatiquement dans l'axe optique du spéculum.

La hauteur de l'ensemble est de 8cm., supérieure à la distance minimum de 4cm. nécessaire entre le quartz et la peau pour éviter la formation d'ondes stationnaires primaires dangereuses.

A l'aide d'une seringue de Guyon, ce spéculum sera rempli d'eau.

La transmission des ultra-sons par eau semble donc actuellement la meilleure au niveau de l'oreille.

) Mode d'application :

Les modes d'application à l'oreille diffèrent évidemment suivant qu'on emploie la méthode allemande ou celle de PORTMANN.

Méthode allemande :

WYT, WIETHE et SCHMALIX emploient des méthodes analogues. Pour WYT, la membrane de contact est une cupule de caoutchouc qu'il place au niveau du massif pétreux.

On peut alors employer deux directions :

- soit de la base jusqu'au sommet du massif pétreux ;
(1er procédé)
- soit en direction oblique en bas et en arrière vers la mastoïde, du côté opposé, mais après avoir cette fois, situé le contact un peu au-dessus et en avant du tragus (2ème procédé).

L'expérience a montré que ce dernier siège est excellent dans les cas de bourdonnements d'oreille.

WIETHE, dans le traitement du vertige de Ménière, employait soit les méthodes précédentes, soit une 3ème méthode. Cette dernière consistait à faire une application sur la mastoïde, après avoir relevé le tragus en se dirigeant vers l'orbite opposée. Etant donné que ces régions ne sont pas très planes, nous avons vu que cet auteur faisait une irradiation ultra-sonore par l'intermédiaire d'une calotte de caoutchouc remplie d'eau qu'il plaçait comme nous venons de l'indiquer.

SCHMALIX a discuté les diverses techniques possibles. Pour lui, l'application directe dans le conduit auditif entraîne

- ou une perte d'énergie (par dispersion)
- ou des accidents (brûlures, etc...)

Aussi, SCHMALIX emploie-t-il les ultra-sons toujours par l'intermédiaire d'une poche en caoutchouc au moyen de deux axes. Le contact peut se faire soit devant le conduit auditif en direction de la mastoïde, du côté opposé, soit sur le plan mastoïdien en direction de l'orbite opposée.

Il emploie donc le deuxième et le troisième procédé qui ont été déjà décrits.

Méthode française :

Il semble qu'en France, on n'ait pas employé ces méthodes. DENIER tout d'abord, avait fait des applications directes sur la mastoïde préalablement ointe de vaseline. Mais c'est surtout PORTMANN qui a critiqué tous ces procédés. Nous avons vu les critiques adressées au moyen de contact employé par DENIER.

D'autre part, les ultra-sons employés ne se propagent pratiquement pas dans l'air, le système pneumatique mastoïdien leur oppose une résistance et crée une réfraction préjudiciable à leur propagation.

Remarquons d'ailleurs que cette pneumatisation est très variable suivant les sujets.

En outre, la voie transmastoiïdienne conduit directement sur le labyrinthe postérieur, expliquant les vertiges observés avec ces méthodes. Cette voie atteint, par contre, plus difficilement l'oreille moyenne et la cochlée, organes à irradier électivement.

Au contraire, le mode d'application des ultra-sons à l'oreille, employé par PORTMANN lui permettrait d'irradier à sa guise l'oreille interne, la caisse et le tympan, selon le type de surdité à traiter.

Cette méthode constituerait une bonne voie d'accès sur la caisse qui est le point central de l'irradiation puisqu'immédiatement en dedans se trouve l'oreille interne et, immédiatement en dehors, le tympan.

Pour PORTMANN M. et C. et BARBE les contre-indications de cette ultrasonothérapie sont avant tout les affections inflammatoires ou tumorales qui empêchent l'introduction du spéculum et, d'autre part, toutes causes de fragilité capillaire. On comprendra d'ailleurs ce dernier fait par l'étude des lésions provoquées par les ultra-sons. La technique employée par PORTMANN est la suivante :

Le sujet est couché sur le côté, exposant son oreille malade vers le haut. L'opérateur se met à droite du malade, s'éclairant à l'aide d'un miroir de Clar, il place alors le spéculum auriculaire spécial qui a été décrit.

Selon la partie que l'on veut irradier, on déplace l'axe optique de ce spéculum.

Pour irradier la cochlée, on fait passer cet axe en avant du manche du marteau. Si l'on veut atteindre la chaîne des osselets de façon plus élective, on fera passer l'axe au-dessus et légèrement en arrière de la courte apophyse du marteau.

Enfin, si on désire irradier le labyrinthe postérieur dans sa partie antérieure, on dirigera l'axe en arrière du manche du marteau.

On maintient le spéculum en place sous le contrôle de la vue et on le fixe sur la conque et la mastoïde au moyen d'une pâte à base de mastic.

Après une dernière visée de contrôle, on adapte le projecteur dans le cylindre, sous l'angle voulu.

A l'aide d'une seringue de Guyon, on remplit d'eau le spéculum et le cylindre, en utilisant l'espace occupé par le clinquant ondulé.

Dès lors on peut mettre l'appareil en marche avec l'énergie désirée.

Les ultra-sons de haute fréquence

-II-

Les effets observés

1) Effets physiques

et lésions expérimentales

2) Effets sur l'audition : comportement auditif des animaux expérimentés

Les audiogrammes obtenus. Exemples

Une des conclusions de cette étude : les doses à employer en clinique.

:--:--:--:--:

Effets physiques :

La technique employée par PORTMANN a permis en concentrant le faisceau d'ultra-sons de bien préciser la direction et l'absorption des ultra-sons par les tissus.

Les ultra-sons se transmettent comme un faisceau lumineux, c'est à dire pratiquement en ligne droite à cause de leur très courte longueur d'onde.

Les ondes se propagent suivant un faisceau cylindrique (section du spéculum) avec des dérivations négligeables, les lésions de l'oreille seront ainsi localisées dans la trajectoire du faisceau. Mais, il faut remarquer que des effets de focalisation se produisent : rétrécissement du faisceau puis divergence en un point dont la distance dépend de l'émetteur.

La vitesse de propagation des ultra-sons dépend comme pour toute onde élastique du coefficient de compressibilité β et de la densité du milieu ρ dans lequel ils se propagent suivant la formule :

$$V = \sqrt{\frac{1}{\beta \rho}}$$

On peut rappeler que cette vitesse, à la température de 17°C, est de 30 mètres/seconde dans le caoutchouc

331	"	"	dans l'air
1500	"	"	dans l'eau
5000	"	"	dans l'acier, le quartz

D'autre part, la portée d'une onde élastique est limitée par l'absorption du milieu matériel dans lequel elle se propage; soit A_0 l'amplitude initiale de l'onde, après avoir parcouru la distance x elle devient :

$$A_x = A_0 e^{-Kx}$$

e étant la base des logarithmes népériens et K un coefficient d'absorption qui dépend de la viscosité et de la densité du milieu. L'amplitude de l'onde dépend donc de la densité. Nous allons voir que la portée est encore diminuée, c'est à dire que l'absorption augmente du fait de l'hétérogénéité du milieu par suite des réflexions, réfractions, diffractions des ondes et surtout frictions entre particules vibrantes. En effet, si on peut admettre qu'un liquide homogène est un transmetteur parfait, par contre la propagation dans les tissus n'est nullement aussi élevée. Toute discontinuité dans les propriétés de transmission, telles que les diverses couches de tissus différents au niveau de l'oreille peuvent en présenter, s'accompagne d'une réflexion plus ou moins diffuse et d'un affaiblissement des ondes ultra-sonores.

Lorsqu'il y a entre deux milieux une grande différence de ρ V c'est à dire de densité du milieu et de vitesse de l'onde ultra sonore on dit que la réflexion serait prépondérante : le pouvoir réflecteur dépendrait du rapport :

$\frac{(m-1)^2}{(m+1)^2}$ si m indice de réfraction est égal à $\frac{V_1 \rho_1}{V_2 \rho_2}$, $V_1 \rho_1$ et $V_2 \rho_2$ étant respectivement les produits des vitesses dans chacun des deux milieux par les densités de ceux-ci. Cette notion de réflexion est fondamentale : elle dépend en définitive du rapport des vitesses des milieux traversés. On conçoit qu'il faut tenir compte de ce premier fait dans l'étude de la transmission des ultra-sons dans les différents plans des tissus de l'oreille. Au niveau d'un plan de réflexion, l'énergie ultra-sonore incidente sera donc doublée ou presque.

Mais il faut préciser également un deuxième fait capital. Dans le champ d'ondes ultra-sonores traversant un milieu hétérogène, on comprend qu'une grosse particule en vibration est douée d'une plus grande inertie qu'une petite molécule. Le mouvement ne sera pas suivi de la même façon par ces deux points matériels : d'où un décalage de phase, d'où des forces mécaniques de friction considérables. Or ce phénomène mécanique de friction engendre un échauffement important.

Cet échauffement de friction jouera à la surface de séparation de deux milieux, du fait de l'inégalité des particules, un rôle capital.

Réflexion, phénomène mécanique de friction et enfin échauffement nous semblent trois propriétés physiques essentielles des ultra-sons pour expliquer les lésions obtenues au niveau des tissus de l'oreille.

Ces lésions et ceci est une notion absolument générale, ont un siège particulier. Les oedèmes, hémorragies et nécroses se produisent toujours au niveau des limites tissulaires, des "interphases", c'est à dire du point de vue physique, à la surface de séparation de deux milieux.

L'os par suite de son pouvoir réflecteur et de sa densité relativement homogène, est ainsi presque respecté dans sa masse, alors que toute surface de séparation de deux tissus de densité différente, cas fréquent dans le domaine des oreilles moyenne et interne, est lésée. Les lésions se localiseront donc avec prédilection entre muqueuse et os, autour des osselets, le long du promontoire et des parois de la bulle tympanique, le long des ligaments, sur le tympan secondaire chez le cobaye, autour du nerf facial, sur l'endoste de la capsule optique, sur les épithéliums et la membrane de Reissner. L'os restera indemne, sauf parfois, autour des cavités médullaires de l'os périostique.

Malgré ce grand nombre d' "interphases" la pénétration serait telle que, chez les petits animaux, les deux oreilles sont atteintes. POHLMANN a déterminé que, pour une fréquence de 800.000 périodes, la perte d'intensité n'était que de 50 pour 100 pour une couche musculo-graisseuse de 4 cm, 9. L'oreille humaine serait donc comprise tout entière dans la zone d'action même, en tenant compte du fait que l'expérience de POHLMANN a été faite sur des tissus présentant beaucoup moins

d'interphases que ceux de l'oreille.

Le long du faisceau ultra-sonore, se trouvent des zones muettes et des zones de condensation d'énergie, du fait des interférences par réflexion. Avec les phénomènes de focalisation dont nous avons déjà parlé, ceci pourrait expliquer que certains animaux expérimentés présentaient des lésions plus marquées du côté opposé à celui des applications, qui restait peu touché.

On voit que les propriétés physiques des ultra-sons peuvent rendre compte du siège des lésions au niveau de l'oreille.

On connaît, d'autre part, la nature de ces lésions tissulaires. Avec des doses faibles, la transformation de l'énergie des ultra-sons en chaleur détermine dans les tissus l'hyperémie et la vasodilatation réversibles.

Aux doses plus fortes, les forces de friction et les effets thermiques devenant considérables, provoquent des oedèmes, des hémorragies et, enfin des nécroses définitives.

L'échauffement de friction explique donc en grande partie la localisation des lésions au niveau de l'oreille.

PORTMANN, grâce au spéculum qu'il a décrit et qui permet de bien localiser le faisceau, rapporte qu'il a utilisé la méthode de HORWARTH.

Cette méthode consiste à mesurer au sein des tissus l'élévation de température à différentes profondeurs au moyen de fines aiguilles, constituant des couples thermo-électriques différentiels.

On sait que si un couple est plongé dans un milieu vibrant la force électromotrice thermo-électrique résultante est fonction de l'énergie ultra-sonore absorbée.

Un autre procédé possible, employé par PORTMANN, consistait à implanter des capsules de collodion contenant de l'iodure de potassium : le dosage de l'iode dégagé par le passage des ultra-sons mesure alors le pourcentage de pénétration des rayons.

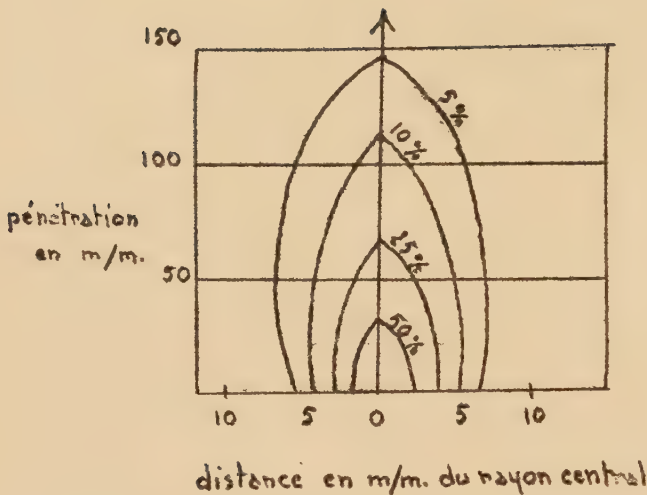
Quant à la pression de radiation, sa mesure sert surtout au contrôle des émetteurs. On mesure la pression de radiation qui s'exerce dans un liquide sur un disque relié à un dynamomètre. Pour éviter les réflexions nuisibles, le disque et les parois du récipient sont revêtus d'une substance absorbante.

Le procédé de HORWARTH aurait permis à PORTMANN d'établir des courbes isodoses de répartition des ultra-sons dans les tissus. On voit que l'irradiation atteint un maximum d'énergie dans la zone située près de l'axe central.

Voici un exemple de courbe isodose donné par PORTMANN (cf. page suivante).

Répartition de l'énergie ultra-sonore dans les tissus, par irradiation avec projecteur fixe. Moyen de contact : eau.

Dose dans le rayon central à la surface des tissus : 100%



On conçoit immédiatement l'intérêt de ces courbes isodoses, qui permettraient de vérifier en partie ce qui a été dit au niveau de la cellule. Mais il convient de remarquer que cette méthode ne peut donner une idée exacte des échauffements globaux et est trop grossière pour mesurer les élévations de température locale aux interfases.

D'autre part, l'élévation de température mesurée est celle qui se localise précisément au niveau du couple et non celle du milieu. On mesure donc non pas l'élévation de température subie par le milieu

mais par un point bien particulier où l'on a introduit par cette méthode une perturbation. Ce point constitue en effet une zone de friction, d'échauffement considérable : c'est précisément le point où se trouve le couple dans les tissus.

Il faut donc remarquer qu'on a par ce procédé seulement l'élévation de température en un point particulier et non pas l'échauffement réel subi par le milieu.

On connaît le rôle important de ces échauffements de friction qui obligent les doigts à lâcher la baguette de verre dans l'expérience de Harwey alors que le milieu dans lequel elle est plongée, subit un échauffement beaucoup moins important.

Néanmoins, si les variations de température que l'on mesure au niveau d'un couple thermo-électrique risquent fort de ne pas être celles du milieu en valeur absolue, on peut, entre plusieurs couples implantés dans les tissus, avoir une idée relative des échauffements subis par ces derniers.

Il semble donc que, malgré les causes d'erreur de cette méthode si on voulait la juger en valeur absolue, on puisse établir des courbes d'échauffements relatifs, des courbes isodoses.

Si les effets physiques produits par les ultra-sons peuvent rendre compte des lésions tissulaires observées, il semble beaucoup plus difficile d'expliquer les altérations produites au niveau de la cellule. PORTMANN a décrit surtout des vacuolisations. Il a donné une coupe histologique des cellules des ganglions de Corti : éléments qui, après l'irradiation présentaient

- 1°) des altérations de la paroi cellulaire avec contours flous et irréguliers;

2°) fait essentiel, il s'était creusé dans le cytoplasme de nombreuses petites cavités arrondies, sphériques optiquement vides, et certains auteurs allemands ont même employé à ce propos un terme qui correspond au mot français bulle.

On pourrait donc se demander quels sont les rapports de ces altérations cellulaires avec un effet physique fondamental des ultra-sons : la cavitation.

On sait qu'au delà d'une certaine amplitude de vibrations apparaissent dans le liquide de petites bulles de gaz dissous.

Ce phénomène est capital au point de vue physique; il conditionne tous les effets des ultra-sons à l'exclusion des phénomènes de friction et des effets thermiques. On sait que, dans le cas d'ondes stationnaires, se constitue un système de noeuds et de ventres. Au niveau des plans ventraux, se produit donc une zone de dépression puis une cavité qui va se remplir de gaz. Lorsque cette microbulle aura atteint une certaine dimension, un certain rayon, elle entrera en résonance et pulsera fortement dans le ventre de pression.

Puis, cette microbulle de la phase dite de cavitation active va grandir, passer alors vers un noeud de pression, s'accoler à d'autres microbulles et constituer ainsi peu à peu les bulles de la deuxième phase de cavitation, dite de cavitation inactive : des bulles de plus en plus grosses se forment alors et se dégagent. Cette présence de nombreuses bulles au niveau des noeuds et des ventres a été mise photographiquement en évidence avec des ultra-sons d'assez basse fréquence pour rendre les phénomènes plus visibles.

Le phénomène de cavitation semble primordial dans le problème de l'action sur les cellules et de la cytolyse par ultra-sons. Il faut d'abord rapporter les expériences faites sur les suspensions "diluées".

L'action indirecte des ultra-sons a été mise en évidence sur des suspensions diluées : elle s'exerce sur les cellules par l'intermédiaire de la cavitation.

Il en résulte que, on supprimerait toute action de cette espèce en rendant la cavitation impossible. C'est ce qui se passe en dégazant : préalablement la suspension, ou bien en la plaçant dans une atmosphère légèrement comprimée. Le remplacement de l'air dissous par un gaz trop soluble, comme le gaz carbonique, empêche également toute action. Par l'intermédiaire de la solubilité des gaz, la nature du milieu de suspension a aussi une grande importance.

Des observations déjà anciennes (HARWEY, LOOMIS, DOGNON et BIANCANI) ont montré l'éclatement de certaines cellules (protozoaires, hématies) sous l'effet d'ultra-sons d'énergie même très faible. Avec d'autres cellules par contre, en particulier les bactéries, les actions sont très irrégulières. Avec le pneumocoque CHAMBERS et WEIL ont montré qu'on pouvait lyser une partie des micro-organismes et que le filtrat qui précipitait avec un sérum antipneumococcique homologue ne pouvait pas amener la formation d'anticorps chez le lapin.

Cependant, ce filtrat montrait une propriété partielle et inhabituelle par l'existence d'une antiréaction. Avec l'Eberth et le streptocoque hémolytique, ces auteurs ont de même obtenu une solution à propriétés antigéniques partielles. GRABAR et ROUYER ont pu stériliser presque totalement un grand nombre d'espèces bactériennes très différentes, mais avec des durées d'exposition de l'ordre de l'heure.

D'autres cellules que les bactéries sont également difficiles à détruire. C'est le cas des cellules hépatiques, des levures pour la destruction desquelles, une irradiation de plusieurs dizaines de minutes à grande énergie est nécessaire. La taille est un facteur important. D'une manière générale, une particule est d'autant plus facile à fragmenter qu'elle est plus grosse, parce qu'elle se rapproche de la dimension de l'onde ultra-sonique et, d'un autre côté, parce que les forces de tension superficielle sont alors plus faibles. Mais une même espèce cellulaire, dans les mêmes conditions d'expérience est sujette à des variations importantes. Par exemple pour les hématies, la susceptibilité ultra-sonique est différente suivant les espèces, les individus et, chez un même individu, suivant les moments.

Dès 1932, le Professeur DOGNON a remarqué que la concentration des suspensions d'hématies était pour l'hémolyse un facteur essentiel. Au-dessus d'une certaine concentration, la lysis qui était quasi instantanée devient alors pratiquement impossible. En réalité, il s'agissait d'une propriété générale de toute suspension, quelles que soient les particules. Au-dessus d'un certain taux de concentration qui constitue un seuil généralement très net, la cavitation deviendrait classiquement impossible et toutes les actions qui en dépendent disparaîtraient aussi, par conséquent. Le mécanisme physique de cet effet reste obscur, mais les conséquences en sont importantes. Pratiquement pour le Professeur DOGNON, on pourrait dire qu'une suspension de cellules dont la concentration est supérieure à 2% a, vis-à-vis des ultra-sons, les propriétés d'un tissu et qu'il n'y a donc pas autre chose que des effets directs de friction et d'échauffement. Dans le sang, au cours des applications thérapeutiques, par exemple, il ne pourrait y avoir ni cavitation ni hémolyse. Une autre conséquence importante est qu'il ne serait pas possible d'obtenir dans une suspension trop concentrée telle que le sang ou le lait, un des effets quelconques qui dépendent de la cavitation, par exemple la destruction des microorganismes ou des enzymes. Conformément à ces prévisions, PRUD'HOMME et ROUYER, à l'Institut Pasteur, ont constaté qu'on ne pouvait stériliser le lait naturel par ultra-sons, et qu'il fallait l'étendre environ dix fois pour y arriver. On voit encore que, si on cherche à préparer une émulsion par ultra-sons on n'en pourra accroître la concentration au-delà de celle qui correspond au seuil précédemment défini.

Il est possible cependant d'observer l'hémolyse en suspensions concentrées, dans deux circonstances bien différentes :

- 1°) Si l'on n'a pas soin de maintenir la suspension bien homogène (par agitation), il se produit, sous l'effet de l'ultra-son, une sédimentation presque instantanée. Du sédiment s'échappe ensuite de fines volutes d'hématies qui, dans le liquide surnageant ainsi déconcentré, sont rapidement hémolysées. Beaucoup de résultats expérimentaux ont été ainsi obtenus dans ces conditions mal définies et sont de ce fait inutilisables. On conçoit également l'importance de cette notion dans l'action des ultra-sons sur les tissus dont l'homogénéité a pu être modifiée par des altérations pathologiques.
- 2°) Mais l'hémolyse en suspension concentrée homogène peut être obtenue lorsqu'on abaisse la fréquence de l'ultra-son. Pour des fréquences basses, l'hémolyse se produit dans une suspension de concentration quelconque, mais seulement au contact même du pôle vibrant. Il s'agit là d'une hémolyse par friction. Le Professeur DOGNON a montré par des expériences directes que la surface des particules, dans une suspension vibrante, peut facilement manifester, par suite de la friction, une élévation de température de plusieurs degrés. Cet échauffement pourrait suffire à provoquer des bulles gazeuses, mais il se peut aussi que la friction agisse par effet mécanique. POHLMANN, par des applications d'ultra-sons de basse fréquence, a pu mettre en évidence sur des végétaux (racines de pois) des lésions prédominantes aux zones correspondant à des vortices de mouvement.

Dans le domaine des hautes fréquences de la bande du mégacycle, nous avons vu qu'on peut provoquer dans certaines conditions une cytolysse rapide, liée à la cavitation. On peut se demander alors comment la bulle "pulsante" libérée par la vibration, arrive à détruire la paroi cellulaire. Les hydrauliciens connaissent les effets érosifs extraordinaires sur les pales d'hélices et de turbines, de la cavitation, née des dépressions violentes dans un liquide. Ils ont montré que les bulles actives étaient les bulles nées ou fixées aux surfaces et que l'action érosive due aux ondes de choc auxquelles elles donnent naissance, dépendait des forces interfaciales. C'est ainsi qu'une surface métallique, graissée s'use beaucoup plus vite qu'une surface propre, parce que les bulles de cavitation adhèrent alors énergiquement à la paroi sous forme d'une calotte sphérique, tandis que, sur une surface propre, elles forment seulement une sphère tangente en un point. Il serait naturel d'imaginer pour la cytolysse un mécanisme analogue.

Pour les hématies, le contact d'une seule bulle vibrante sur la paroi est suffisante pour sa destruction, ce qui rend compte du caractère instantané de la lyse individuelle. Pour les cellules peu sensibles, et en particulier, les bactéries, l'action successive d'un grand nombre de bulles doit être envisagée. En effet, le microscope électronique montre une "érosion" progressive de la paroi jusqu'à la dispersion.

totale. La résistance à l'ultra-son d'une paroi cellulaire dépend non seulement de ses propriétés mécaniques, mais aussi de ses propriétés de surface, qui sont variables et qui règlent l'adhérence de la bulle vibrante. Des renseignements, peut être intéressants, pourraient être acquis sur la nature des parois cellulaires par une étude systématique de la susceptibilité aux ultra-sons. Par exemple, les variations importantes observées dans la sensibilité des hématies peuvent être en rapport avec quelque changement dans la constitution de leur surface. Mais l'action d'un facteur quelconque sur la sensibilité ultra-sonique d'une cellule ne peut être précisée que par son étude dans deux circonstances expérimentalement différentes.

- 1/ sur la cellule isolée, c'est à dire en suspension très diluée
- 2/ sur un ensemble de cellules à une concentration voisine de la concentration critique.

En effet, le facteur étudié peut simplement déplacer ce seuil de concentration au-dessus duquel la cavitation n'aurait plus lieu. C'est ainsi que l'adjonction d'une trace d'un sel biliaire à une suspension relativement concentrée d'hématies, paraît diminuer beaucoup la susceptibilité. Mais, si la suspension est très diluée, il reste sans effet. Il s'agit donc, non d'une augmentation véritable de la résistance, mais d'un déplacement du seuil vers les faibles concentrations, peut-être, par suite du gonflement des hématies, consécutif à l'adjonction du sel biliaire.

Toutes ces considérations montrent la complexité du problème de la cytolysé ultra-sonique.

Classiquement donc, la "cavitation vraie", au niveau des cellules des tissus de l'oreille ne pourrait exister.

Là encore, seuls les effets de friction et d'échauffement, pourraient expliquer les altérations de la paroi et l'apparition de ces cavités arrondies, optiquement vides, sphériques, qui se creusent dans le cytoplasme après application d'ultra-sons.

Néanmoins, actuellement, quelques auteurs allemands font des recherches qui laisseraient à penser qu'une "cavitation cellulaire" ne serait pas impossible. L'un d'eux, en correspondance avec le Professeur DOGNON, emploie même un terme qui équivaut au mot français "bulle".

Mais comme nous l'avons vu, on peut penser que de simples effets d'échauffement peuvent provoquer l'apparition de bulles gazeuses : il s'agit d'un phénomène général qui pourrait également être envisagé pour expliquer ces lésions.

Il faut envisager maintenant les conditions d'expérience où ces lésions tissulaires et cellulaires ont été observées.

Des expériences ont été faites sur une cinquantaine d'animaux par PORTMANN M. et C. et BARBE. C'est en janvier 1952 que des résultats ont été apportés d'une façon plus précise et portant sur un plus grand nombre d'irradiations qu'en décembre 1951 où déjà, on trouvait dans la séance du 13 décembre, de la Société de Biologie de Bordeaux, une étude expérimentale des effets des

ultra-sons sur l'oreille.

Des cobayes, des lapins, des rats ont donc été irradiés à l'aide de l'appareillage : générateur et spéculum, qui a été déjà décrit.

L'irradiation par la voie du conduit auditif externe fut faite par séances de 10 minutes et à des densités d'énergie différentes : 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 3 - 4 - 8 - 10 watts/cm².

Une trentaine de cobayes subirent en outre des examens fonctionnels de l'audition.

Certains furent sacrifiés : immédiatement, 5, 24, 48 heures 3 et 6 jours après applications :

Fixation au liquide de A. Weber, par perfusion intra-cardiaque sous narcose.

Colorations banales : hématéine-éosine, Morel et Bassal

Colorations spéciales : Bielchowski, A. Weber

Coupes semi-sérialisées des rochers et des cerveaux.

Le résultat de ces irradiations est de deux ordres et porte sur :

- les lésions obtenues
- le comportement auditif

LES LESIONS :

Récemment des contrôles histologiques plus nombreux que ceux des premières expériences de PORTMANN ont permis de bien décrire ces lésions qui atteignent autant l'appareil de transmission que l'appareil de réception et de préciser trois stades. Ces trois stades sont constitués par :

- un premier stade de d'hyperémie. Cette hyperémie s'accompagne parfois, même pour des doses de 0,5 watt/cm², de transsudats décollant, en particulier, l'épithélium de la caisse et apparaissant immédiatement pour disparaître par la suite, si la dose a été faible.

- un deuxième stade de vasodilatation et d'extravasation sanguines : hémorragies, transsudations, oedèmes, surtout dans la caisse, le canal spiral, le long du vestibule membraneux.

- Enfin, un troisième stade de nécrose. Pour des doses de 8 watts/cm², elle est immédiate ; pour des doses plus faibles : secondaire quelques heures à quelques jours plus tard.

Cette nécrose porte surtout sur les épithéliums sensoriels plus fragiles. Mais ici, les auteurs précisent que chez certains cobayes, immédiatement après 3,5 watts/cm², pendant 10 minutes se produisait un élargissement des cellules externes de l'organe de Corti (cellules de soutien et cellules nobles). Le cytoplasme devient plus hyalin et moins colorable.

Même à des doses de 3 watts/cm², on peut déterminer des lésions des cellules sensorielles, secondairement. Cinq jours après, en effet, on trouve des images de dégénérescence des cellules de l'organe de Corti.

A des doses fortes : 8 watts/cm², pendant 15 minutes, on constate la destruction immédiate des organes de Corti.

Pour les tissus environnants, ces stades sont les mêmes dès 3 watts/cm², les fibres musculaires se nécrosent et la fibre nerveuse présente une vacuolisation immédiate au niveau de la gaine de myéline. En coupe longitudinale, la fibre prend un aspect boursoufflé, très irrégulier avec un grand nombre d'incisures de Schmidt et Lanterman. En coupe transversale, elle présente un élargissement des cellules externes repoussant le cylindraxé en position excentrique.

Ces lésions de la gaine sont parfois passagères.

Au niveau de l'axone, au contraire, elles seront définitives le plus souvent. Elles n'apparaissent pas pour des doses de 1 watt/cm², mais elles sont importantes pour des doses plus fortes. Les axones sont alors très élargis, de contours irréguliers, présentant des épines de plus en plus longues et épaissies à mesure qu'on augmente la dose.

Des vacuolisations isolées ou multiples peuvent donner au cylindraxé sur des coupes longitudinales un aspect en échelle par le fait de la succession des vacuoles. Cet aspect se voit pour de fortes énergies. Les fibres et leurs terminaisons se fragmentent et dégénèrent là encore en formant de petites sphères optiquement vides.

Les cellules ganglionnaires, enfin, pour des doses de 3 watts/cm² prennent un contour irrégulier et flou. De nombreuses petites cavités se forment dans leur cytoplasme et la cellule perd son affinité tinctoriale.

Cette apparition, secondaire aux irradiations, de nombreuses petites cavités sphériques au niveau de la cellule, semble donc un fait essentiel dans les lésions cellulaires décrites par PORTMANN.

De cette étude expérimentale de l'action des ultra-sons de la bande du méga-cycle, on doit retenir que la densité d'énergie dans le domaine otologique ne doit pas dépasser 1 watt/cm².

Enfin, c'est moins la nature des lésions que leur localisation qui est, comme il a été déjà dit, spécifique d'une façon certaine de l'action des ultra-sons sur l'oreille.

Effets sur l'audition



L'ACTION DES ULTRA-SONS SUR LE COMPORTEMENT AUDITIF

Elle fut révélée par la méthode de Preyer. Chaque animal fut testé 4 fois : un examen avant, un examen dans les heures qui suivent, un examen 24 heures après irradiation, et enfin, 5 jours après. Des audiogrammes nombreux furent ainsi faits, tant du côté irradié que non irradié. quelques animaux ne présentèrent aucun réflexe du côté ultra-sonisé, même après des doses de 0,5 watt/cm² car leur pavillon fut lésé lors de l'irradiation et on ne peut tenir compte de leurs courbes.

Par ailleurs, l'application ultra-sonique étant faite sous narcose, des animaux témoins anesthésiés dans les mêmes conditions n'ont aucune modification de leur audition.

Les audiogrammes montrent que, pour une irradiation de 0,5 watt/cm² et 1 watt/cm², les ultra-sons ne provoquent aucun trouble fonctionnel important. Chez 3 animaux ces énergies auraient même déterminé un hyperfonctionnement auditif léger et fugace.

Par contre, 2 watts/cm² provoquent une hypofonction définitive de 8 à 10 décibels et plus, pour le côté traité, et variable pour le côté opposé. Ce déficit survient dès le deuxième jour sur toutes les fréquences interrogées, mais ne se maintient après le 5^e jour que pour les fréquences aigües (1024, 2048, 4096).

Un animal présentait une perte minime une heure après et un déficit total dès le 2^e jour, dû à une otite moyenne survenue sur l'oreille ultra-sonisée.

3 watts/cm² déterminent une hypofonction marquée du côté irradié.

Ce déficit est uniforme sur toute l'échelle interrogée dès les premières heures et même le deuxième jour, mais par la suite, pour la plupart des animaux une récupération de quelques décibels se produit pour les basses fréquences (256, 512) tandis que, au contraire, pour les sons aigus (2048, 4096) la perte s'aggrave et, en définitive, la surdité qui en résulte du côté irradié est plus importante pour ces fréquences.

L'oreille non irradiée subit toujours une perte auditive mais en général inférieure à celle de l'autre oreille.

Les troubles sont grossièrement proportionnels aux doses.

De tout ceci, retenons qu'à partir de 2 watts/cm² on provoque une perte auditive primaire à peu près homogène, puis une perte secondaire définitive, surtout marquée pour les sons aigus.

Il faut envisager maintenant quelques principes essentiels de technique audiométrique, avant de donner quelques exemples d'audiogrammes.

TECHNIQUE AUDIOMETRIQUE

Conditions de bonnes mesures audiométriques chez l'homme :

Pour que les mesures audiométriques chez l'homme soient valables, il faut :

- éliminer les sujets psychiquement trop retardés ou présentant une rhino-pharyngite ou un coryza banal.
- il faut également que tous les examens/effectués par le même opérateur, dans une chambre sourde parfaitement conditionnée et grâce à un audiomètre dont le réglage est vérifié chaque jour.

Le principe de la méthode est connu : il s'agit de faire percevoir au sujet des sons purs, tous harmoniques, dont la fréquence mesurée en cycles-secondes est portée en abscisse et dont l'intensité en décibels est connue et portée en ordonnée.

Grâce à un tatonnement rapide pour chaque fréquence donnée on arrive avec une approximation de 5 décibels, à fixer le seuil de la sensation auditive chez le sujet examiné.

Les résultats sont inscrits sur un graphique ou audiogramme.

- 1) Les fréquences employées courent de 128 à 8192
- 2) L'échelle des intensités va de + 10 à - 100 décibels

La ligne marquée 0 représente l'audition normale d'un sujet de 20 ans. Cette ligne marque une limite idéale entre tout ce qui siège au-dessus et au-dessous d'elle.

Au-dessus : l'audition est théoriquement meilleure que la normale

Au-dessous : surdité plus ou moins considérable.

Le degré de perte auditive mesuré par l'intensité en décibels nécessaire au malade pour entendre la fréquence donnée est ainsi mis en évidence.

On fera donc les courbes de la conduction aérienne C A et de la conduction osseuse C O, avant et après ultra-sons.

On sait que la grosse difficulté consiste à éliminer autant que possible la perception par l'oreille opposée. Nous verrons comment on peut diminuer cette cause d'erreur.

D'autre part, un diagnostic en audiologie est dans la pratique déjà bien orienté par les preuves classiques de l'audiométrie : Rinné, Weber, Schwabach, Bing, Gellé, Bonnier, Escat, Lewis. Mais on remarque immédiatement la part très importante dans ces mesures des facteurs subjectifs. Il est donc nécessaire pour suivre l'évolution d'une surdité d'avoir une mesure quantitative précise indépendante autant que possible des variations individuelles. C'est ce que permet l'audiomètre radio-électrique.

L'audiométrie radio-électrique :

L'audiomètre radio-électrique est un générateur de courant alternatif à fréquence acoustique. Les modèles les plus simples donnent 7 fréquences en octaves de 128 à 8192 comme nous l'avons vu. Des repères indiquent les fréquences usuelles. Un atténuateur règle l'intensité du son.

C'est surtout s'il y a une certaine différence entre la valeur des deux oreilles qu'il est absolument nécessaire d'assourdir le côté non examiné. En effet, par voie aérienne, à 40 ou 50 décibels au-dessus du seuil, le son peut être perçu par l'oreille opposée, et on obtiendrait une courbe parallèle à celle de la bonne oreille et la reproduisant comme une ombre. L'audiomètre comporte un système assourdisseur produisant un bruit analogue à un jet d'air, dont le spectre s'étend sur l'ensemble des fréquences (bruit blanc, par analogie avec la lumière blanche composée également de toutes les fréquences du spectre). L'intensité doit en être réglée de façon à ne pas retentir sur le côté examiné.

Par voie osseuse, l'assourdissement est toujours indispensable, mais très difficile à obtenir, car le crâne est un excellent conducteur du son, qui gagne l'autre labyrinthe sans grande perte d'énergie. Si la différence est grande entre les deux côtés, il n'est donc pas possible avec les systèmes d'assourdissement habituels, de se fier aux résultats donnés par l'audiomètre. On peut cependant essayer d'assourdir l'autre oreille par voie aérienne avec un son continu de même fréquence à une intensité légèrement supérieure et émettre du côté interrogé par voie osseuse, un son intermittent afin de permettre au sujet de le distinguer. Mais le seul procédé efficace serait celui d'Aubry et Giraud. Il utilise un jet d'air comprimé sous pression de 15g dirigé sur l'ombilic du tympan par un tube de 1 millimètre de diamètre fixé au centre d'un spéculum d'oreille.

Technique de l'examen :

Le sujet assis le dos tourné à l'appareil, place l'écouteur sur l'oreille, du côté le meilleur. On commence par la fréquence 1024 à une intensité suffisante. Lorsque le sujet témoigne qu'il entend, on diminue progressivement l'intensité jusqu'à ce que le son ne soit plus perçu, puis on l'augmente jusqu'à ce qu'il reparaisse. C'est ce niveau (seuil ascendant) qui est marqué sur l'audiogramme. Il est souvent nécessaire d'interrompre plusieurs fois le son à l'aide de la manette spéciale, pour en faciliter la reconnaissance au voisinage du seuil.

On interroge ensuite de la même façon les fréquences aiguës dans l'ordre croissant, en laissant un intervalle de dix à quinze secondes entre chacune d'elles, pour éviter l'effet de fatigue, puis les fréquences graves, dans l'ordre décroissant. Enfin, pour vérifier l'exactitude des dires du sujet, on mesure à nouveau

le seuil sur la fréquence 1024. On procède ensuite de même pour l'autre oreille, en assourdisant la première si la différence entre les deux atteint 40 à 50 décibels.

Pour la voie osseuse, le sujet applique fortement le vibreur sur la mastoïde, en évitant le contact avec le pavillon. On peut mesurer pour chaque fréquence la conduction osseuse (CO relative, puis en bouchant l'oreille avec un doigt, la conduction osseuse absolue (COA). Mais cette dernière manoeuvre n'a pas été pratiquée dans les exemples d'audiogrammes obtenus avant et après ultra-sons.

Effets sur l'audition

Etude des audiogrammes

III bis

Exemples d'audiogrammes obtenus avant et après applications d'ultra-sons

Comparaison entre audiogramme expérimental et thérapeutique

L'audiogramme permet d'apprécier avec précision le pourcentage de perte ou de récupération auditive.

D'autre part, schématiquement, chez l'homme :

1) dans les surdités de perception :

Pour la conduction aérienne CA : au début une atteinte dissociée prédominant sur les sons aigus et gagnant ensuite les fréquences graves.

Pour la conduction osseuse CO : un déficit égal à celui de la CA

2) dans les surdités de transmission :

Pour CA : baisse qui s'étend à peu près également sur toutes les fréquences, mais courbes assez variables possibles.

Pour CO : normale (sauf parfois dans l'otospongiose, diminution ou abolition de l'écart entre CO relative et CO absolue)

Effets des ultra-sons sur la fonction auditive

Exemples d'audiogrammes obtenus avant et après application d'ultra-sons à l'oreille

1°) Applications expérimentales sur le cobaye

- applications faites avec des doses dont les chiffres se situent juste au-dessus de ceux des doses thérapeutiques

2°) Applications thérapeutiques sur l'homme .

On remarque que :

- a/ les courbes expérimentales montrent une perte auditive uniforme, un jour après l'application
Au contraire, quelques jours après, cette perte, suivant la dose, persiste ou augmente pour les sons aigus, alors qu'il y a récupération pour les graves.
- b/ les courbes obtenues après ultrasonothérapie (c'est à dire à doses moindres) chez l'homme sont :
 - plus proches de la ligne 0 que les courbes avant ultra-sons
On sait que ceci témoigne d'une récupération auditive
 - obliques dans l'ensemble de haut en bas et de gauche à droite, c'est à dire des sons graves vers les aigus.

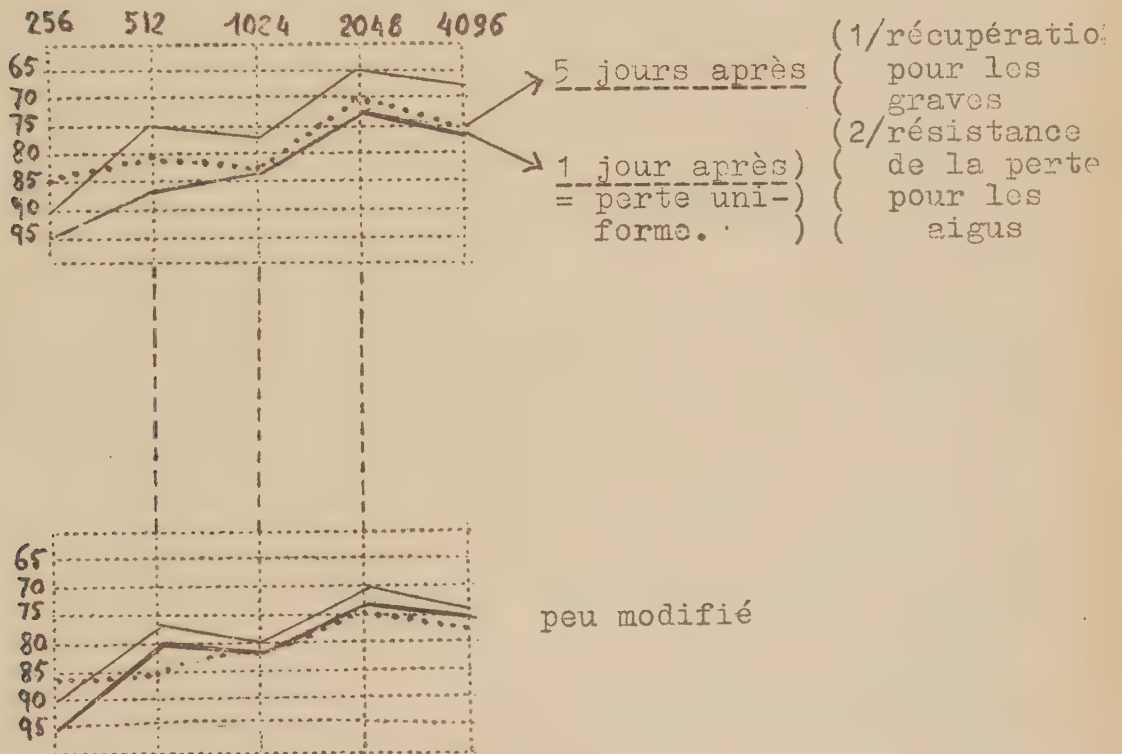
Ceci montre que les ultra-sons semblent plus efficaces pour obtenir des récupérations auditives situées dans les sons de fréquences grave que dans ceux de fréquence élevée.



IRRADIATION DE 2 WATT/CM² SUR L'OREILLE GAUCHE D'UN COBAYE

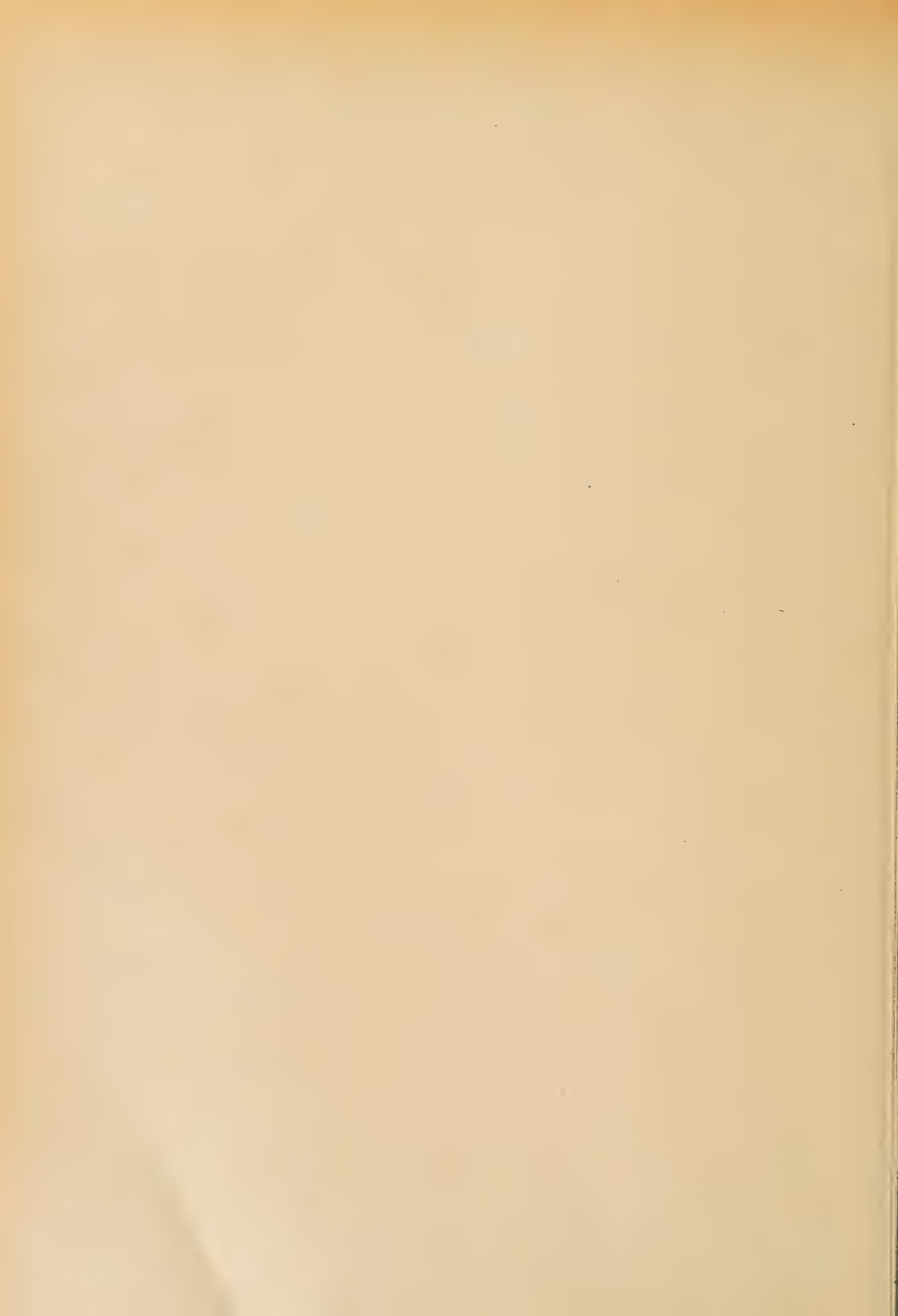
20 watt/10cm²

Action sur l'oreille gauche
irradiée :



Action sur l'oreille droite,
non irradiée.

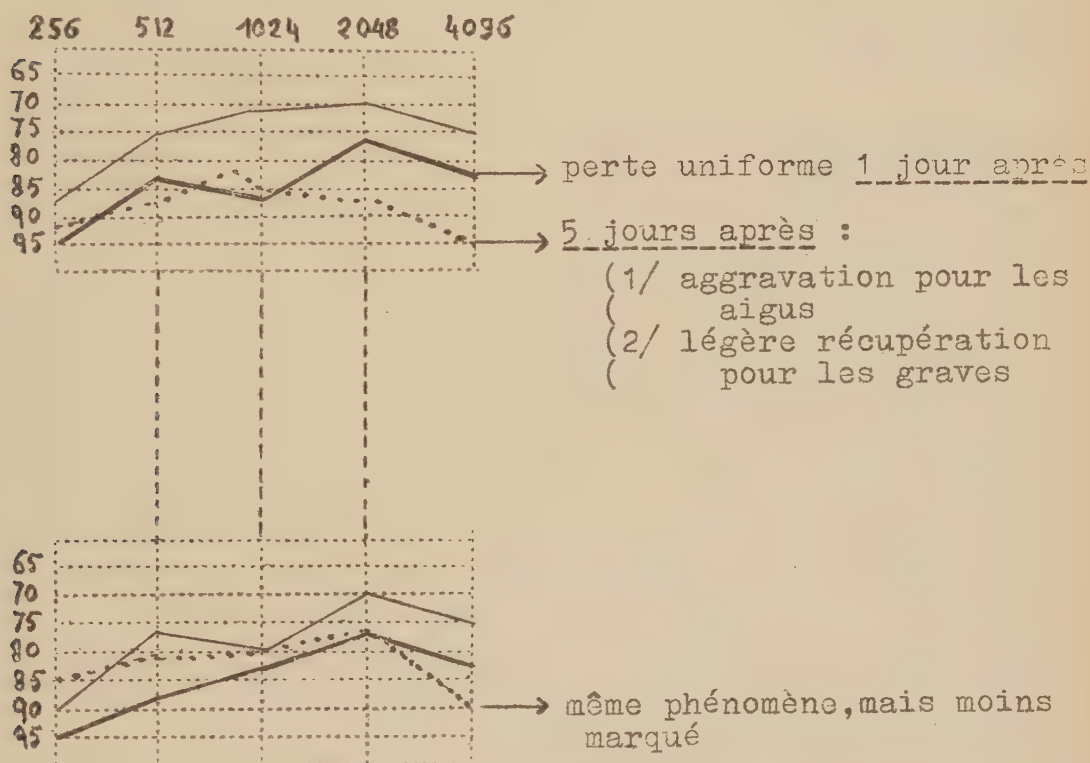
—— = avant U.S.
—— = 1 jour après
..... = 5 jours après



IRRADIATION DE 3 WATT/CM² SUR L'OREILLE GAUCHE D'UN COBAYE

30 WATT/ 10CM²

Action sur l'oreille gauche irradiée



Action sur l'oreille droite, non irradiée

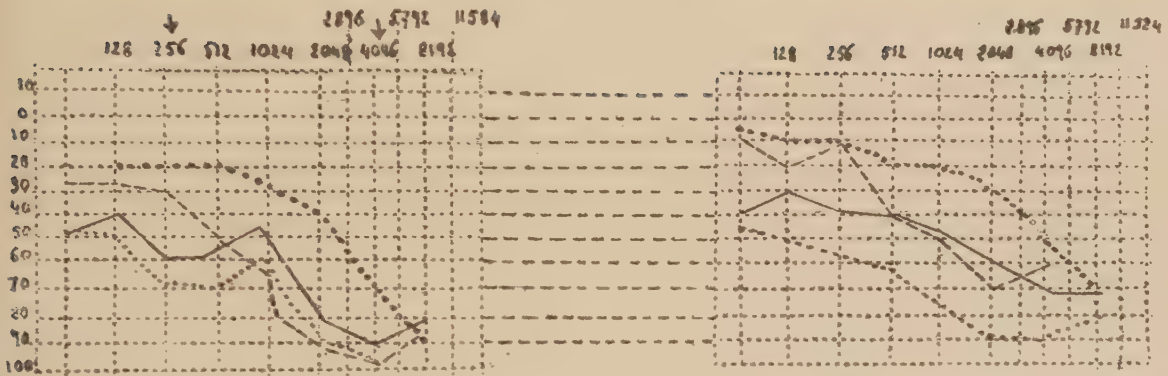
— = Avant U.S.
— = 1 jour après
..... = 5 jours après



LABYRINTHOSE

Oreille gauche

Oreille droite

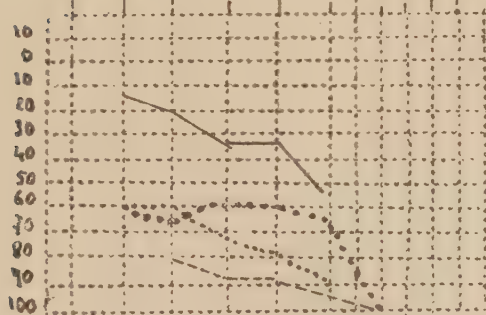
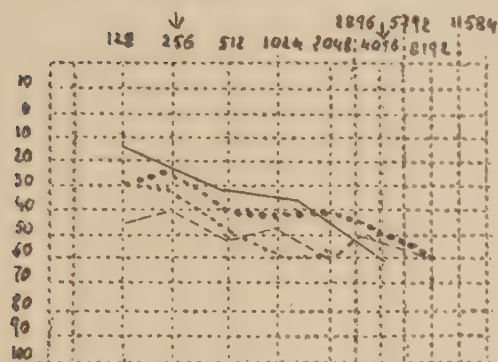


.....CA }
 ———CO } après traitement
CA }
CO } avant traitement



SURDITE DE PERCEPTION PAR SENESCENCE

Oreille droite



Oreille gauche

— CO } après traitement
 CA }
 CO } avant traitement
 ----- CA }



- Les tests

- Les doses à employer
en clinique



Nous avons étudié l'appareillage, le mode de transmission des ultra-sons appliqués à l'oreille, les diverses techniques à employer.

L'étude expérimentale est, d'autre part, venue apporter des limites de doses à ne pas dépasser en clinique. Une densité d'énergie de 1 watt/cm² est un maximum dans les applications cliniques des ultra-sons de haute fréquence en otologie. En outre, on a essayé de préciser ces doses d'après les sensations, les réactions des sujets.

Les doses thérapeutiques sont voisines de celles que l'expérimentation fonctionnelle et histologique nous a montrées nocives.

On a vu que les épithéliums sensoriels paraissent très sensibles. PORTMANN et BARBE ont montré également, au cours de leurs expériences, que les ultra-sons étudiés chez divers animaux déterminent une hypoalouence labyrinthisque homolatérale d'autant plus forte et durable que la dose est plus importante. Aux doses les plus faibles, les effets anatomiques sont réversibles : simple hyperémie passagère, il en est de même des effets fonctionnels sur l'audition.

Mais, si l'on vient à augmenter peu à peu les doses, très rapidement peuvent se produire des hémorragies, œdèmes, nécrose avec infection secondaire (pus, otite) dès le quatrième jour. PORTMANN a rapporté que lors de ses premières expériences où il employait soit la voie transmastoldienne, soit, avec le spéculum décrit plus haut, le conduit auditif externe, il avait, sur un animal, provoqué une paralysie faciale.

Enfin, du fait de la proximité de l'axe cérébro-spinal, on pouvait déterminer des désordres graves suivant les doses : obnubilation, torpeur, coma, rythme de Cheyne Stokes, enfin mort.

Néanmoins, il faut remarquer que lors des premières expériences de PORTMANN les doses employées étaient considérables relativement au petit volume de l'animal. Les énergies utilisées étaient, suivant les cas, de 20, 25, 30, 40, 80 et 100 watts pour une surface de quartz émetteur de 10cm². La paralysie faciale avait été observée après 30 watts durant 15 minutes.

Les doses employées lors d'expériences plus récentes étaient moins importantes et plus proches, relativement, des doses cliniques.

Quoiqu'il en soit, on ne peut demander à l'expérimentation qu'une approximation grossière.

Il convient donc, pour préciser les doses en clinique, d'observer les réactions du sujet à la recherche d'un test.

Un auteur allemand, WYT, a observé qu'au cours des séances d'ultra-sonothérapie au niveau de l'oreille, le malade ressentait de petits picotements au siège de l'application. Trois minutes plus tard, environ, survenait un peu de vertige, signe de l'excitation vestibulaire.

L'intensité de ce vertige dépendrait de l'excitabilité vestibulaire. Mais, si on voulait prendre comme limite de dose cette sensation, il serait difficile de s'en tenir à ce trouble étant donné la latence d'apparition de ces signes chez certains malades.

Il en est de même lorsqu'on veut se baser sur le nystagmus qui a été également observé.

Une autre observation intéressante des effets des ultra-sons en clinique au niveau de l'oreille, est la provocation de flux salivaire par excitation de la corde du tympan et du ganglion géniculé.

A ce propos, on a remarqué une amélioration très nette survenue chez une malade qui ressentait des brûlures de la langue.

On peut penser que ce dernier phénomène est dû surtout à une excitation de la corde du tympan par l'ultrasonothérapie.

On peut donc penser que les ultra-sons appliqués au niveau de l'oreille peuvent exciter :

- le ganglion géniculé
- la corde du tympan
- le grand nerf pétreux superficiel

de sorte qu'ils déclenchent des effets sécrétoires et sensoriels

Néanmoins là encore, si l'on voulait prendre comme test de dose les sensations de brûlure de la langue par excitation de la corde du tympan, lors de la séance d'ultrasonothérapie, on se heurterait à l'inconstance du phénomène chez les malades traités.

Chez trois autres malades, WYT avait remarqué en outre, des sensations auditives : tintement de cloche, bruits d'aïles.

Ce dernier phénomène fait penser à une excitation par les ultra-sons des organes de Corti. Mais on voit tout ce que ce test pouvait avoir de subjectif et de variable suivant les malades.

SCHMALIX prend comme doses celles qui restent toujours au-dessous du seuil douloureux. Il fait en sorte que, avec les doses qu'il emploie, le malade ne ressente jamais de douleur.

D'autre part, avec ces doses, on n'aurait pas à craindre de nuire au labyrinthe étant donné la couche aérienne protectrice et, d'autre part, une application clinique faite dans ces conditions ne peut pratiquement pas atteindre la fonction auditive : nous verrons ultérieurement les chiffres employés afin de pouvoir les comparer à ceux des autres auteurs.

PORTMANN donne également des chiffres qui lui permettent chez tous les malades de rester au-dessous du seuil douloureux.

Aux doses employées par PORTMANN :

- le malade ne sent rien pendant trois ou quatre minutes
- ensuite, il éprouve une sensation de chaleur ou de froid
- puis viennent des picotements

On peut donc penser qu'un des tests étudiés est intéressant: le test douleur qui marque "la dose critique à ne pas atteindre".

En effet, si l'on vient à augmenter la durée des séances, la dose du traitement, il se produit une sensation de brûlure particulière, insupportable, douleur très spéciale et ne ressemblant à aucune autre, si ce n'est, d'après certains malades, à celle de l'onglée.

On ne doit jamais atteindre ce stade, sous peine de provoquer des lésions irréversibles.

Même avec les chiffres utilisés, le malade après chaque irradiation présente déjà localement une hyperémie de l'ensemble du tympan et, au point de vue général, une tendance au sommeil.

Ces doses utilisées actuellement sont schématiquement les suivantes :

I:) La densité d'énergie :

En moyenne entre 0,1 et 1 watt/cm². Fait essentiel, ce dernier chiffre est un maximum à ne pas dépasser.

Pour SCHMALIX de 0,5 à 1 watt/cm².

Pour PORTMANN : 0,3 watt/cm² seulement pour l'irradiation du labyrinthe postérieur, sinon, on déclenche des crises vertigineuses.

0,6 ou 0,7 watt/cm² pour la cochlée et les osselets, parfois jusqu'à 1 watt/cm².

II:) La durée des séances d'application des ultra-sons : 5 à 10 minutes.

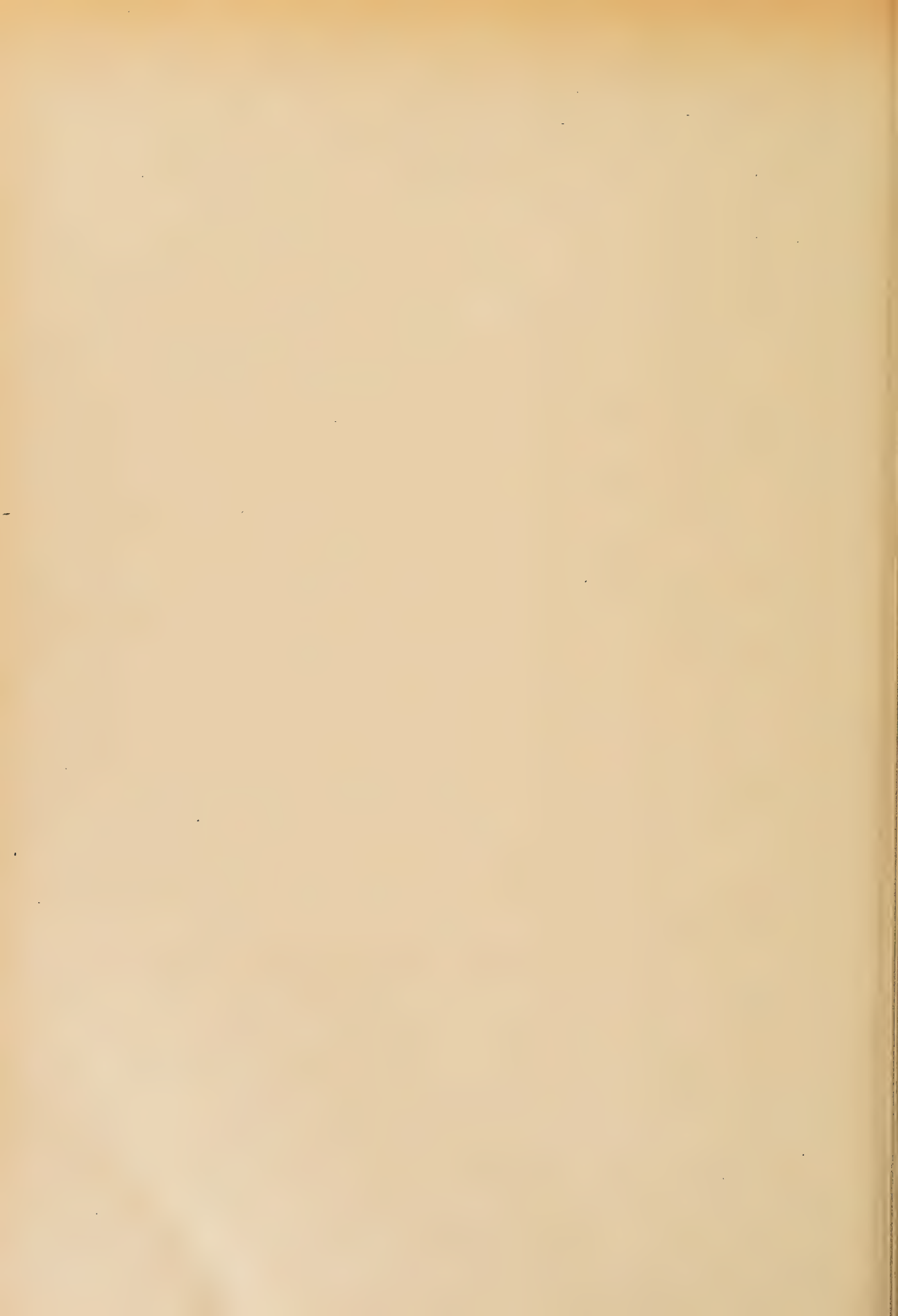
III:) Le nombre et le rythme des séances : deux irradiations par semaine seront faites sur l'oreille malade. Lorsque les 2 oreilles sont à traiter, on peut les irradier toutes les deux dans une même séance, à condition de laisser reposer le malade au moins 10 minutes entre les deux irradiations.

Le nombre des séances pour une série est de 8 à 10 et ne dépasse en général pas la douzaine. Exemple : 10 séances réparties sur 4 à 5 semaines.

Nous avons vu que les techniques étaient différentes suivant les auteurs, au contraire, ces doses sont employées autant par les auteurs allemands (WYT, WIETHE, SCHMALIX) que français.

On conçoit tout ce que ceci peut évidemment avoir de schématique en clinique. Rappelons enfin, qu'il faut toujours pratiquer épreuves auditives et audiogrammes avant et après application des ultra-sons.

Il convient maintenant d'étudier les résultats obtenus en clinique.



- IV -

Ultrasonothérapie dans les affections de l'oreille :

Résultats :

- 1 - Otosclérose - Otospongiose
- 2 - Bourdonnements d'oreille
- 3 - Vertige auriculaire de Ménière.



Otosclérose :

Rappelons d'abord que les contre-indications au traitement sont surtout les affections inflammatoires aiguës et tumorales du conduit auditif.

L'irradiation du labyrinthe et des régions avoisinantes peut améliorer certains malades atteints d'otosclérose.

Au Congrès des Ultra-sons, tenu à la Faculté de Médecine d'Erlangen (zone américaine d'Allemagne) du 2 au 4 mai 1949, les statistiques des résultats de l'ultrasonothérapie faites par MM. les Professeurs RECH et MATTHIES auraient montré, sur 151 cas d'otosclérose, 51 améliorés et 48 cas traités sans résultats.

Dans le Journal de Radiologie et d'Electrologie (tome 31, n° 9-10, 1950) DENIER indique, après 72 mesures audiométriques qu'il y aurait des récupérations auditives intéressantes de 10 à 30 décibels, non dans des cas de vraies otospongioses mais dans les scléroses, du tympan et de l'oreille moyenne, post-inflammatoires, quand il y a une otite dans les antécédents. DENIER cite le cas d'un malade de 64 ans, ayant eu une otite double à 20 ans, ne percevant plus au-delà de 4.500 périodes, avec une perte de 50 décibels dans les graves. Après deux séances, ce malade aurait récupéré 20 décibels. La montre, non perçue à l'oreille, l'est de nouveau, et c'est l'oreille la plus touchée qui a récupéré le plus..

Otospongiose :

Pour PORTMANN, qui a étudié 78 malades traités, l'otospongiose pourrait également bénéficier de l'ultrasonothérapie. Les malades furent l'objet d'examens fonctionnels (acoumétrie, examen de la voix, audiométrie, examens vestibulaires) avant la première irradiation, immédiatement et 5 mois après le traitement. Parmi ces malades, il y avait 21 cas d'otospongiose, à la phase de transmission, 9 bonnes améliorations se traduisirent par un gain de 15 à 20 décibels sur l'audiogramme. 5 malades eurent une amélioration sociale sensible, mais seulement des gains audiométriques ne dépassant pas 10 décibels. Enfin, on compte 8 améliorations temporaires ou échecs d'emblée.

D'autre part, sur 36 surdités mixtes (otospongiose avancée, et séquelles d'obstruction tubaire et d'otite plus labyrinthose) on obtint :

- 16 bons résultats avec gains audiométriques de 15 à 20 décibels se maintenant après 5 mois.
- 10 résultats moyens avec gains d'environ 10 décibels
- 10 améliorations ou échecs d'emblée.

Rappelons en outre, que le catarrhe tubaire qui peut présenter des rapports avec une affection otologique, pourrait bénéficier également de l'ultrasonothérapie (Congrès d'O.R.L. de Paris, octobre 1952).

Des auteurs allemands tels PFANDER, NAUMANN rapportent que dans les affections audiolgiques, leurs observations personnelles montraient des résultats très variables : tantôt aggravations, tantôt améliorations.

Il faut envisager maintenant l'action des ultra-sons dans deux cas particuliers :

- le traitement des bourdonnements d'oreille
- le traitement du vertige de Ménière

Deux auteurs allemands, WYT et WIETHE, ont rapporté des observations cliniques assez nombreuses.

Les bourdonnements :

WYT déclare que des cas de bourdonnements d'oreille ont été traités par les ultra-sons avec de bons résultats, ce qui a amené une modification de la tonalité, une amélioration de l'audition, des réactions favorables. Rappelons que WYT, du point de vue technique, employait une direction oblique en bas et en arrière vers la mastoïde du côté opposé, mais après avoir situé le contact un peu au-dessus et en avant du tragus. L'expérience aurait montré en effet que ce siège est excellent dans les cas de bourdonnements. Le protocole des expériences fait ressortir que l'amélioration qui est obtenue dès le départ est consolidée par les séances ultérieures.

C'est au cours des séances d'ultrasonothérapie pour bourdonnements que WYT a rapporté les petits picotements ressentis par le malade au siège de l'application et la survenue, trois minutes plus tard d'un peu de vertige.

C'est encore au cours de ces applications qu'il a observé du nystagmus et des brûlures de la langue. Ce dernier signe, peut-on penser, est dû à une excitation de la corde du tympan favorisée par le siège particulier de l'application.

L'amélioration survenue chez le malade dont WYT a rapporté l'observation, malade qui éprouvait cette sensation, a été très nette.

C'est encore au cours de ces traitements que chez trois autres malades, il avait remarqué des sensations auditives : tintement de cloches, bruits d'ailes.

- Sur 18 observations : 10 hommes, 8 femmes, qui se plaignaient de bourdonnements d'oreille, dont 11 sujets avec tympan normal il obtint :

Un échec uniquement dans deux cas :

- 1 cas d'otosclérose chez qui, seule l'audition a été améliorée
- 1 cas où il y avait un certain degré de dégénérescence de l'oreille interne. Et même dans ce cas, il y aurait eu une amélioration de l'audition : la voix chuchotée a été perçue à 1,5m. alors qu'auparavant elle l'était seulement à 20 centimètres.

Chez les 16 autres malades, le résultat a été favorable.

Chez deux d'entre eux, il serait parfait avec un recul de 9 semaines pour l'un de ces sujets. Chez 6, les bourdonnements n'ont disparu que d'un côté avec, pour une malade, un recul de 4 mois.

Chez 4, les limites tonales ont été élargies: chez 4 malades, enfin, l'audition n'a pas été influencée.

Finalement, WYT essaie d'expliquer cette action thérapeutique des ultra-sons dans les bourdonnements. Pour lui, à côté de facteurs purement mécaniques et thermiques, rentrent en jeu des processus de chimie colloïdale. L'action mécanique constituerait un micromassage qui aurait une action hyperémianste et d'activation de la circulation lymphatique.

On peut penser, que, dans certains cas, un facteur psychologique est également possible.

WYT a donc apporté des observations intéressantes, mais il semble qu'il ait contrôlé l'audition des malades par les méthodes de l'acoumétrie classique et non par l'audiométrie.

Par contre, PORTMANN a fait de nombreux audiogrammes, comme nous l'avons vu.

Au sujet des bourdonnements, il remarque que :

- d'une part, ils disparaissent au cours des traitements des surdités par otosclérose, otospongiose, dans la plupart des cas, même si l'audition n'est pas améliorée.

- d'autre part, dans les cas sans perte auditive, il observe que sur 6 cas graves, 4 sont très améliorés et 2 améliorés - que, sur 15 cas de bourdonnements aigus au cours de manifestations vasculaires générales :

- 7 sont très améliorés
- 3 améliorés
- 5 sont des échecs.

D'après SCHMALIX, les bourdonnements seraient parmi les affections otologiques, celle qui est le mieux influencée. Il observe que, sur 82 cas traités :

- 59 restent sans résultat
- 18 ont des résultats excellents
- 5 ont des aggravations

La guérison des bourdonnements chez des malades présentant des oreilles saines, c'est à dire des bourdonnements d'origine centrale, a été plus fréquente.

On pense donc à un rôle probable de la psychothérapie.

Résultats sur l'audition en clinique :

Ayant rassemblé les résultats des auteurs allemands et ses observations personnelles, c'est à dire sur 107 malades, 167 oreilles, SCHMALIX a étudié les pertes ou les gains d'audition.

Les chiffres ont été réunis dans un diagramme. Ces résultats obtenus se superposent d'après lui, à la courbe en cloche de GAUSS.

Le maximum de cas, montre que l'ultrasonothérapie est restée sans effet sur l'audition. D'autre part, il y aurait à peu près autant de cas avec gain qu'avec perte.

Mais, d'après le même auteur, le pourcentage des personnes ayant présenté une modification dans l'audition serait très faible.

En général, pour les sujets présentant une perte de l'audition, cette diminution oscillait autour de 11,3%. Pratiquement donc SCHMALIX estime que ces pertes, à la suite d'ultrasonothérapie sont presque négligeables.

SCHMALIX donne en outre les résultats suivants :

10 malades qui étaient sourds, ont été améliorés subjectivement : psychothérapie probable.

Sur 10 malades atteints de névrite du nerf stato-acoustique 6 ont vu leurs vertiges disparaître et même cesser les petits accès

Parmi les échecs 1 cas de névrite syphilitique.

Le vertige de Ménière

Enfin, divers auteurs ont rapporté de bons résultats dans certains cas de vertige de Ménière. On sait que les bourdonnements où l'ultrasonothérapie semble avoir quelques résultats sont un des éléments du syndrome clinique de Ménière. Il convient ici, de faire un bref rappel de ce syndrome clinique, dont le traitement a surtout été étudié par WIETHE.

Prosper MENIERE décrivit, en effet, en 1861, "le vertige auriculaire" dans un mémoire sur "les lésions de l'oreille interne donnant lieu à des symptômes de congestion cérébrale apoplectiforme".

Le vertige de Ménière est un syndrome labyrinthique caractérisé par la triade symptomatique :

- 1) surdité
- 2) bourdonnements
- 3) vertiges,

sensation pour le malade que les objets se déplacent en tournant autour de lui, à distinguer d'une simple lipothymie.

A ces trois signes, s'ajoutent presque toujours des vomissements et des nausées.

Ce syndrome peut être de 4 types : épisodique ou accidentel, paroxystique, continu ou apoplectiforme.

La conservation de la conscience est la règle : le malade se rend compte de tout ce qui se passe autour de lui. Ceci était donné par CHARCOT comme caractéristique du vertige de Ménière : la perte de connaissance peut cependant exister, quelquefois être très courte, ou au contraire, se continuer plusieurs heures.

Dans les paroxysmes, il peut se produire parfois une aura, de la recrudescence des bourdonnements, un sifflement aigu, de la céphalée.

Les malades ayant déjà eu des crises peuvent ainsi les prévoir.

On a beaucoup discuté à propos du côté sur lequel peut se faire la chute : le plus souvent c'est du côté de l'oreille lésée, mais ceci est inconstant. Quant au nystagmus, il apparaît surtout dans le regard du côté sain.

La crise peut durer quelques heures. Le malade finit par s'endormir et tout est terminé au réveil, sauf la surdité qui s'est accentuée.

Le malade peut reprendre sa vie habituelle, mais sa démarche n'est souvent pas assurée et rappelle l'ébriété ou, comme l'a dit MOOS, la démarche de canard. Le sujet s'avance avec précaution et évite tout mouvement brusque, car de passer rapidement de la position assise à la position debout ou couchée, de relever ou détourner la tête, pourrait ramener un accès violent.

On va donc chercher cliniquement la cause de ce syndrome :

- d'abord des signes d'atteinte cérébello-labyrinthique :
 - le signe de Romberg
 - l'existence d'un nystagmus dans le décubitus dorsal
 - la déviation des index

Si cette première exploration est positive, on pense à une lésion du nerf vestibulaire, isolée ou associée à des lésions du nerf cochléaire et l'examen neurologique avec radiographie du crâne, examen du fond de l'oeil, et éventuellement, ponction lombaire, pourrait seul préciser la cause du syndrome vestibulaire :

- tumeur de l'angle ponto-cérébelleux
- syphilis, névrite vestibulaire

On recherche ensuite une cause locale :

- otite,
- labyrinthite
- surdité chronique

Si l'examen neurologique et otitique est négatif, on pense à des causes générales :

- gastriques, toxiques, infectieuses et, surtout la sclérose artérielle et les angiospasmés.

A ce propos, on peut rappeler que l'ultrasonothérapie a été utilisée avec un certain succès dans des cas d'artérite des membres inférieurs.

Pronostic :

Le vertige peut finir par disparaître au bout d'un temps variable et généralement long, cependant le pronostic est souvent sévère chez l'ouvrier, le vertige peut empêcher le travail pendant des mois ou des années et du moins interdire un grand nombre de métiers où la moindre titubation peut devenir dangereuse.

Pour beaucoup, le vertige est un obstacle aux relations sociales, au travail manuel ou intellectuel. Chez les sujets nerveux ou prédisposés, il peut conduire à la neurasthénie secondaire, à l'agoraphobie, aux troubles psychiques.

Traitement :

Dans certains cas de vertige de Ménière, rebelles, on a même envisagé la section intracrânienne du nerf auditif.

On conçoit donc l'intérêt de l'application clinique des ultra-sons au vertige de Ménière.

WIETHE emploie soit la même technique que précédemment pour les bourdonnements d'oreille, soit application sur la mastoïde, après avoir relevé le tragus, en se dirigeant vers l'orbite du côté opposé. Etant donné que ces régions ne sont pas très planes, nous avons vu cet auteur placer une calotte de caoutchouc remplie d'eau.

WIETHE fait une série de 10 séances par malade.

Les résultats sont variables selon les cas. Les bourdonnements et la céphalée disparaissent pendant quelques heures à quelques jours et, pour certains malades, définitivement.

Sur 26 cas, l'auteur a noté, chez 6 malades, en même temps une amélioration de l'audition, 1 seul malade a eu son état audiométrique aggravé : 15 décibels en moins, mais il ne s'en est pas rendu compte.

A l'épreuve du nystagmus provoqué : diminution de la durée du nystagmus de 20 à 30%

Ensuite, dans la moitié des cas, on trouve un raccourcissement léger du temps de latence d'apparition du nystagmus.

Chez plusieurs malades, on obtint une diminution des vertiges intenses ressentis.

Sur 26 malades, 18, pendant une observation de deux à douze mois, n'ont plus eu d'accès de vertige.

Chez d'autres, il a persisté quelques ébauches de vertige mais jamais avec la même intensité qu'auparavant.

Enfin, chez 2 malades, on n'obtint pas de résultats au point de vue vertige.

Chez 9 malades, les bourdonnements ont disparu complètement.

Chez 10 : amélioration

Chez 5 : pas de changement.

L'audition enfin, a été améliorée subjectivement dans 10 cas. Elle ne l'a pas été chez les autres malades.

SCHMALIX, d'autre part, a rapporté les résultats d'une expérience de un an et demi.

Sur 18 malades, présentant le syndrome de Ménière, il obtint 10 améliorations nettes. Chez les 8 autres, il eut des rechutes plus ou moins tardives et importantes.

Enfin, PORTMANN rapporte que sur 6 cas de vertige de Ménière, traités par les ultra-sons :

- 3 ont eu un bon résultat
- 1 un résultat moyen
- 2 un échec

Si l'on prend ces statistiques dans l'ensemble, environ 50 à 60 pour cent des malades atteints de vertige de Ménière sont améliorés.

En dernier lieu, il convient de remarquer que l'ultra-sonothérapie en audiologie est encore trop récente et le recul insuffisant pour vraiment juger des résultats obtenus.

Il reste néanmoins ce fait, que les ultra-sons permettent souvent d'agir là où, fréquemment, le spécialiste est pratiquement désarmé.

:--:--:--:--:

CONCLUSIONS

:--:--:--:--:

Pour le Professeur CALVET et C. BIRAGUE, on peut fixer la limite supérieure des fréquences audibles à 28.000 périodes par seconde, c'est à dire définir les ultra-sons. Ces auteurs ont observé l'action des ultra-sons de basse fréquence sur l'excitabilité vestibulaire des oreilles pathologiques : elle se trouve modifiée.

Nous avons essayé d'expliquer les lésions surtout par des effets de friction et d'échauffement.

Les expériences qui ont été faites sur les animaux ont montré que l'application des ultra-sons de haute fréquence dans la région de l'oreille, peut déterminer des troubles allant de l'hyperémie et de la vaso-dilatation transitoires jusqu'aux hémorragies, oedèmes, nécroses localisés surtout au niveau des limites, des "interphases" cellulaires.

L'appareillage décrit par PORTMANN et notamment le spéculum à pavillon prolongé par un cylindre facilitant l'admission du projecteur d'ultra-sons a permis de préciser les données expérimentales.

Cette technique permet bien la transmission des ultra-sons par eau et la localisation de l'irradiation. Elle a montré qu'on ne doit pas dépasser une énergie de 1 watt/cm².

Immédiatement au-dessus de ce chiffre, en effet, l'expérimentation a montré que les ultra-sons peuvent entraîner une perte auditive surtout marquée pour les sons aigus.

L'ultrasonothérapie en audiologie mérite l'attention des chercheurs.

En effet, dès maintenant, il faut retenir l'action intéressante des ultra-sons, étudiée en particulier par les auteurs allemands : SCHMALIX, WYT et WIETHE et en France surtout par PORTMANN dans :

- des cas d'otosclérose

et surtout chez certains malades atteints de :

- bourdonnements d'oreille
- vertige de Ménière.

:--:--:--:--:



BIBLIOGRAPHIE

:--:--:--:--:--:--:

- BARBE J.L. - Les ultra-sons en O.R.L. - Thèse Bordeaux, 1950
- BERGMANN L.-Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik - S. Hirzel, Verlag, Zurich, 1949
- BUCHTALA V.-(Rontgenabt. chir. Univ. Kl. Wurzburg). Ultraschalltherapie - Anwendungsbereich und Kontraindikation Artzl. Wschr.,1948, 3,21-22 et 321-326
- CALVET J. et BIRAGUE C. (Toulouse) - Les ultra-sons de basse fréquence et l'appareil cochléo-vestibulaire de l'homme.- Santé Publique nov. 1951, n° 58
- CALVET et BIRAGUE C. - les ultra-sons de basse fréquence, leur intérêt physio-pathologique.- Sté Electro-Radiol. Sud-Ouest, 4 déc. 1949
- DEBAIN J.J. - Audiométrie - Encyclopédie Médico-chirurgicale , O.R.L., T.1, 20035 A10
- DENIER A. - Indications nouvelles en ultrasonothérapie - Radiol. Electrol. 1950, 31, n°9-10, 589-590
- HORWARTH J. - Experimentelle Untersuchungen und therapeutische Erfahrungen mit Ultraschallwellen.- Arztl. Forschung, 1949, 3, n° 1,11-21
- KLUGE . - Neuere Untersuchungen uber die Schallenaufnahme des Ohres Z. Hals. Usw. HK, 1933,34, 236-237
- KREJCI F. - Recherches statistiques sur la valeur des ultra-sons dans les affections de l'oreille.- Wien.Klin.Wschr., 14 sept. 1951 , 63, n° 37, 707-709
- KREJEL F. et BEIDL W. - Practica O.R.L., 1950, 12, n°4,193-202
- MAGNET.- Applications médicales des ultra-sons.- Thèse Paris, 1951, n° 31
- MAGNO.- In der Ultraschall in der Medizin Kongressbericht der Erlangen Ultraschall., Tagung, 1949, 205-207
- NAUMANN H. - Ultra-sons et région de l'oreille.-Arch. Chron. Nasen Kehlkopf, 1951,160,n°3, 240-292, 42 fig.
- PELLEGRINI A. - Ultra-sons en otologie.-Archiv.Ital.Otol.Rin. Laring., Janvier-février 1950, 61, 68-72
- PFANDER F. - Recherches cliniques et expérimentales sur l'extension des ultra-sons dans l'oreille et le crâne.- Zschr. Hals-Nasen-Ohrenh.,1951,160,n°1, 32-46, 12 fig.
- POHLMANN .- Le traitement par les ultra-sons et ses développements actuels. Schweiz.Med. Wschr.,20 aout 1949, 79, n°33, 754-759, 4 fig.

- POHLMANN.- Verb. des Ges., 1939, 20, 52 et 1939, 52, 251
- PORTMANN M. et BARBE L.J. - Effets des ultra-sons sur l'oreille, étude expérimentale.- C.R. Soc. Biol. Bordeaux, 13 déc. 1950 (séance), av. 1951, 145, n° 7-8, 572
- PORTMANN G. et M. et BARBE L.J. - Les ultra-sons de haute fréquence et l'oreille. Sem. Hôp. Paris, 30 janv. 1952 28, n°8, 283
- PORTMANN G. et M. et BARBE L.J. - Les ultra-sons et les nerfs de l'oreille, étude morphologique.- Livre jubilaire du Pr. Dubreuil, Arch. Anat. Histol. Embryol. Strasbourg, 1950
- PORTMANN M. et C. - Action comparative des sons intenses sur les systèmes de fibres nerveuses afférentes et efférentes de la cochlée. C.R. Soc. Biol. Bordeaux, juil. 1952, 146, n°13-14, 1110
- ROSENTHAL H.- Ultrasonica in clinical medicine.- J. Aviation Med. juin 1950, 21, 265-272
- RUST H.H.- Les traitements par les ultra-sons de cavités corporelles remplies d'air.- Deutsche Med.Wschr. 1er déc. 1950, 75, n°48, 1629-1630, 2fig.
- SCHMALIX - Importance pratique des ultra-sons en O.R.L.- Med. Klin., 5 mai 1950, 45, n°18, 564-565
- SCHOWALTER E.J. - Données audiométriques après exposition à des bruits centrés de basse fréquence.-Arch. Ind.Hyg. Occup.Med. mai 1952, n°5, 430-435, 4 fig.
- SCHOWALTER E.J. - Les ultra-sons dans l'audition.Possibilité de les utiliser pour le diagnostic.-Acta Oto-Laryng. juin 1951, 39, n°2-3 , 263-267, 7 fig.
- TEXIER .- Applications des ultra-sons en thérapeutique.- Thèse Paris, 1951.
- VERSE A. - Applications thérapeutiques des ultra-sons.- Thèse Paris, 1951.
- VOSS.- Ultraschall in dienste der Behandlung Chronischer Schwerzhörigkeit keiten.- Arch. Ohr. U.S.W. Hk. 1932, 135
- VYSLONZIL E. - Ultrasonothérapie des maladies de l'oreille.- Arch.f. Physicalischetherapie, mai-juin 1950, 2, 173-181
- VYSLONZIL E. - Effets des ultra-sons sur l'appareil vestibulaire Wien.Klin. Wschr., 29 juil. 1949, 61,n°30, 468-469
- VYSLONZIL E. - Mschr. Ohren Laryng. Rhino-Heilk.,1949,83,383 (référence citée par PORTMANN)
- WANGERMEZ et BARBE L.J. - Les ultra-sons en thérapeutique médicale.- Soc. Radiol. Sud-Ouest. 1er déc. 1950
- WIETHE C.- Le traitement du vertige de Ménière par les ultra-son Wien.Klin. Wschr.,29 juil. 1949,61,n°30,466-468
- WYT L.- Le traitement par les ultra-sons des bourdonnements d'oreille.- Wien.Med.Wschr. 25sept.1948,98,n° 37/38,405-409

VU :

Le Président de Thèse :

H. DESGREZ

VU:

Le Doyen de la Faculté de Médecine

Léon BINET

Vu et permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie de Paris :

J. SARRAILH.

